

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Magisterský studijní program: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

Analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje a kvalitu povrchu při frézování konstrukční oceli pro firmu PARAMO, a.s.

Analysis of the influence of process fluids on durability tool and surface quality during milling of structural steel for the company PARAMO, a.s.

KOM - 1195

Pavel Zimola

Vedoucí práce: Prof. Ing. Alexey POPOV, DrSc. – TUL

Konzultant: Ing. Pavel Venzara - TUL

Počet stran: 71

Počet příloh: 7

Počet obrázků: 68

Počet tabulek: 16

25.5.2012



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení:	Pavel Z I M O L A
Studijní program:	M2301 Strojní inženýrství
Obor:	2303T002 Strojírenská technologie
Zaměření:	Obrábění a montáž

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje a kvalitu povrchu při frézování konstrukční oceli pro firmu PARAMO, a. s.

Zásady pro vypracování:
(uveďte hlavní cíle diplomové práce doporučené metody pro vypracování)

1. Shrnutí poznatků o klasifikaci procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin.
2. Definice pojmu trvanlivosti nástroje při třískovém obrábění, analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje při frézování.
3. Definice pojmu kvalita povrchu, metody měření parametrů kvality povrchu.
4. Navržení metodiky zkoumání trvanlivosti nástroje a drsnosti povrchu při frézování konstrukční oceli v laboratoři KOM FS TUL.
5. Porovnávání trvanlivosti nástroje při nesousledném a sousledném frézování bez použití procesní kapaliny a s použitím různých procesních kapalin.
6. Výzkum vlivu různých procesních kapalin na drsnost povrchu při frézování.
7. Analýza laboratorních výsledků; vyvození závěrů.



Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: 50 - 60 stran textu
- grafické práce: obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

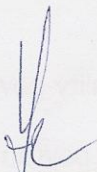
1. HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80-7044-616-1.
2. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
4. ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 - 1. díl - Metody, stroje a nástroje na obrábění*. 1. vyd. Praha: Pedagogické nakladatelství Scientia, spol. s.r.o., 2000. 256s. ISBN 80-7183-207-3.
5. SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. 2005. 601 s.

Vedoucí diplomové práce:

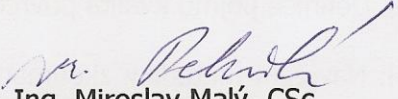
Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Konzultant diplomové práce:

Ing. Pavel Venzara


Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci, dne 30. 09. 2011

Analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje a kvalitu povrchu při frézování konstrukční oceli pro firmu PARAMO, a.s.

ANOTACE:

Diplomová práce obsahuje informace o trvanlivosti břitů nástroje (mechanismech, typech a časovém průběhu opotřebení), o drsnosti povrchu, o procesních kapalinách (technologických požadavcích a druzích kapalin), o frézování a o konstrukčních ocelích. Tato práce se zabývá vlivem procesních kapalin při sousledném i nesousledném frézování konstrukční oceli. Výsledky vlivu procesních kapalin jsou hodnoceny z hlediska trvanlivosti břitů a drsnosti obrobené plochy.

Klíčová slova: TRVANLIVOST NÁSTROJE, PROCESNÍ KAPALINY, FRÉZOVÁNÍ, KONSTRUKČNÍ OCELI

Analysis of the influence of process fluids on durability tool and surface quality during milling of structural steel for the company PARAMO, a.s.

ANNOTATION:

This Thesis includes information on durability of cutting tools (mechanisms, types and time behavior attrition), surface roughness, process fluids (technological requirements and types of fluids), milling and structural steel. This work deals with the influence of process fluids on climb and conventional milling of structural steel. The results of process fluids are evaluated in terms of tool life and machined surface roughness.

Keywords: TOOL LIFE, PROCESS FLUID, MILLING, STAINLESS STEELS

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2012

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	71
Počet příloh:	7
Počet obrázků:	68
Počet tabulek:	16

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 25. 5. 2012

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrSc. za pomoc, cenné rady, připomínky a odborné vedení práce.

Dále děkuji konzultantovi diplomové práce panu Ing. Pavlu Venzarovi za poskytnutou pomoc a věcné rady. Též děkuji panu Ing. Jiřímu Karáskovi za pomoc v laboratoři metrologie, panu Ing. Miloslavu Ledvinovi za pomoc v dílnách a dalším pracovníkům katedry obrábění a montáže za pomoc při řešení vyskytlých problémů.

Také bych velmi rád poděkoval svým rodičům za velkou trpělivost a podporu při mém studijním úsilí. Děkuji své rodině a přátelům, kteří mě také podpořili.

Pavel Zimola

Obsah

Obsah.....	5
Seznam použitých zkratk a symbolů	7
Úvod	9
I. Teoretická část.....	10
1. Trvanlivost nástroje	10
1.1. Opotřebení řezných nástrojů.....	10
1.1.1. Mechanismus opotřebení	10
1.1.2. Typy opotřebení	12
1.1.3. Charakteristika opotřebení	14
1.1.4. Časový průběh opotřebení	15
1.2. Trvanlivost bříty nástroje	16
2. Kvalita povrchu.....	18
2.1. Drsnost povrchu	19
2.1.1. Nerovnosti	19
2.1.2. Filtry profilu.....	19
2.1.3. Povrch	19
2.1.4. Profil	20
2.1.5. Měřené délky.....	21
2.1.6. Výškové parametry profilu.....	21
2.1.7. Křivky a odpovídající parametry	22
2.2. Měření drsnosti	23
2.2.1. Dotyková metoda	23
3. Procesní prostředí.....	23
3.1. Technologické požadavky na řezná média	24
3.1.1. Chladicí účinek.....	24
3.1.2. Mazací účinek	24
3.1.3. Čisticí účinek	25
3.1.4. Provozní stálost.....	25
3.1.5. Ochranný účinek	25
3.1.6. Zdravotní nezávadnost.....	26
3.1.7. Přiměřené provozní náklady.....	26
3.2. Procesní kapaliny.....	26
3.2.1. Vodní roztoky	27
3.2.2. Emulzní kapaliny	27
3.2.3. Řezné oleje	27
3.2.4. Syntetické a polysyntetické kapaliny	28
3.3. Účinky řezné kapaliny na frézování	28
4. Technologie Frézování.....	29
4.1. Rozdělení frézování	29
4.2. Definice pojmů a jejich výpočet.....	31

5. Konstrukční oceli	32
5.1. Řazení konstrukční oceli dle ČSN.....	32
5.2. Ocel 14 220.....	33
II. Experimentální část.....	35
6. Popis strojů, přístrojů a použitých PK.....	35
6.1. Nástrojová frézka FNG 32.....	35
6.2. Fréza.....	37
6.3. VBD	37
6.4. Nástrojová lupa Brinell	38
6.5. Mikroskop Arsenal SZP 3112–T	38
6.6. Laboratorní profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2	39
6.7. Procesní kapaliny.....	39
6.8. Refraktometr	40
6.9. Chladicí soustava	40
7. Metodiky experimentů.....	41
7.1. Metodika zkoumání trvanlivosti nástroje	42
7.1.1. Příprava před frézováním	42
7.1.2. Řezné podmínky	42
7.1.3. Postup při obrábění	43
7.2. Metodika zkoumání drsnosti povrchu.....	44
8. Naměřené hodnoty	46
8.1. Naměřené hodnoty při měření trvanlivosti nástroje	46
8.1.1. Frézování bez PK.....	47
8.1.2. Frézování s vodou.....	48
8.1.3. Frézování s kapalinou EOPS 1030	49
8.1.4. Frézování s kapalinou EOPS 2040	50
8.1.5. Frézování s kapalinou ERO SB.....	51
8.1.6. Frézování s kapalinou ERO SB-PLUS	52
8.1.7. Frézování s kapalinou LACTIC	53
8.1.8. Naměřené trvanlivosti břitů.....	54
8.2. Hodnocení kapalin a opotřebení břitu	54
8.3. Hodnocení kapalin při sousledném frézování	60
8.4. Hodnocení kapalin při nesousledném frézování	61
8.5. Hodnocení kapalin při sousledném i nesousledném frézování	62
8.6. Hodnocení kapalin z hlediska drsnosti povrchu	63
8.7. Shrnutí hodnocení.....	64
9. Závěr.....	66
Seznam literatury	69
Seznam příloh.....	71

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka / Symbol	Jednotka	Popis
a_e	[mm]	šířka pracovního záběru
a_p	[mm]	hloubka řezu
C_T	[-]	konstanta Taylorova vztahu
C_V	[-]	konstanta Taylorova vztahu
D	[mm]	průměr nástroje v řezu
f	[mm/min]	posuv stolu
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
l	[mm]	měřená délka obrábění
l_r	[mm]	základní délka
l_n	[mm]	vyhodnocovaná délka
l_t	[mm]	celková délka
L	[mm]	celková naměřená obrobená délka
KB	[mm]	šířka žlábků na čele
KL	[mm]	vzdálenost od ostří k okraji žlábků
KM	[mm]	vzdálenost od ostří ke středu žlábků
KT	[mm]	hloubka žlábků na čele
k	[%]	koncentrace PK
m	[-]	číslo měření
m_T	[-]	exponent Taylorova vztahu
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje
p	[-]	celkový počet hodnot
q	[-]	konstanta pro úroveň spolehlivosti
n_i	[-]	refrakční index
R_a	[μm]	střední aritmetická úchylka profilu

R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_p	[μm]	největší výška výstupku
R_q	[μm]	Průměrná kvadratická úchylka profilu
R_v	[μm]	největší hloubka prohlubně profilu
R_z	[μm]	největší výška profilu
t	[min]	čas obrábění
T	[min]	trvanlivost břitu
v_c	[m/min]	řezná rychlost
VB	[mm]	velikost opotřebení na hřbetu
VB_k	[mm]	velikost kritického opotřebení na hřbetu
VB_{\max}	[mm]	maximální velikost opotřebení na hřbetu
VR	[mm]	radiální otupení
x_i	[-]	i-tá hodnota statistického souboru
z	[-]	počet lůžek na nástroji
ČSN		česká státní norma
EN		evropská norma
PK		procesní kapalina
VBD		vyměnitelná břitová destička

Úvod

Neustálou snahou o zkrácení výrobního procesu se docílí nejen snižování počtu a lepšího uspořádání obráběcích operací, ale i zkracování vlastního procesu řezání, což vede ke stále většímu používání vysokorychlostního a výkonového obrábění, čímž se zvyšuje tepelná a energetická náročnost obrábění.[24]

Není ale možné provádět všechny operace za tak vysokých teplot. Nejen při dokončovacích operacích je potřeba dbát na povrchovou vrstvu materiálu, u kterého požadujeme rozměrovou a geometrickou přesnost u strojních součástí vyráběných obráběním. Tato povrchová vrstva je ovlivněna vysokou teplotou, a proto je doporučeno používat procesní kapaliny k snížení tření a k snížení tepelné náročnosti obrábění.[23]

Používání procesních kapalin však může mít z hlediska řezného procesu i negativní účinky, které se tak při obrábění bez PK vyloučí. Vlivem přerušovaného řezu, např. při frézování, vzniká velmi intenzivní střídavé tepelné zatěžování břitu frézy. Používáním procesních kapalin se tyto tepelné rázy ještě zesílí. V řezném materiálu tak může docházet až k vytváření makroskopických trhlin přecházejících k lomu břitu. Použitím obrábění zasucha lze proto v těchto případech dosáhnout i vyšší trvanlivosti břitu. U většiny konstrukčních materiálů se při frézování bez PK dosahuje vyšší trvanlivosti břitu než při obrábění zamokra z výše popsaných důvodů.[24]

Cílem této diplomové práce je porovnat procesní kapaliny a obrábění bez PK při frézování konstrukční oceli a pokusit se najít emulzní olej od firmy PARAMO, a.s., který by se přiblížil nebo zvýšil trvanlivost břitu vůči obrábění bez procesní kapaliny. Z pohledu směru otáčení frézy a pohybu obrobku porovná výsledky sousledného a nesousledného frézování na trvanlivost břitu. Z hlediska drsnosti obrobené plochy se pokusí najít řeznou kapalinu, která dosáhne nejlepší drsnosti obrobené plochy.

I. Teoretická část

1. Trvanlivost nástroje

1.1. Opotřebení řezných nástrojů

Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vytváří na ploše čela a hřbetu nástroje. Tepelná zatížení značně namáhají břit a v některých případech, jako například u frézování, vytváří dynamický faktor v okamžiku, kdy jeden břit z materiálu vystupuje a jiný do něj naopak vniká. Procesem utváření třísky, provázeném vysokým tlakem a teplotou, se průběžně vytváří čistý kovový povrch, na kterém má obráběný materiál sklon k chemickým reakcím nebo difuzním procesům. Většina obráběných materiálů obsahuje tvrdé částice různého druhu, které se svou tvrdostí neliší od materiálu břitu. Tyto částice mají brousící případně abrazivní efekt vůči nástroji.[3, 6]

Kombinací výše uvedených mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování břitu, jenž se projevuje jeho opotřebením.[3, 6]

1.1.1. Mechanismus opotřebení [3]

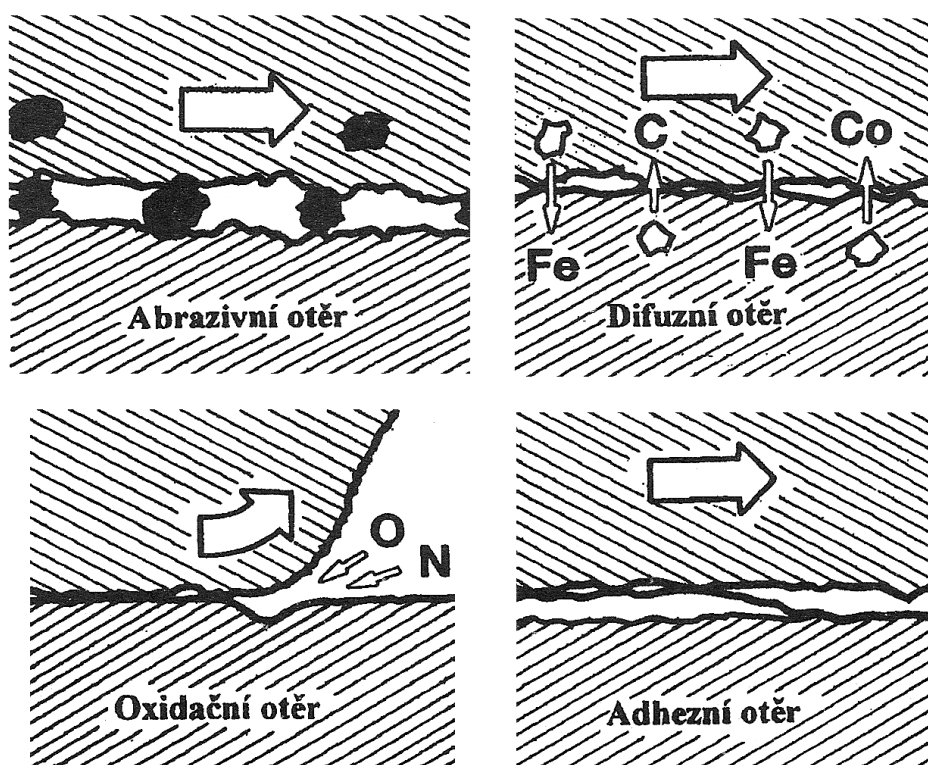
Po analýze zatěžujících faktorů je možné identifikovat základní mechanizmy opotřebení (obr. 1):

Abrazivní otěr - je velmi častý mechanismus, který vzniká hlavně působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Schopnost odolávat abrazivnímu otěru je z větší části závislá na tvrdosti břitu. Abrazivní otěr je významný především při nižších řezných rychlostech, tedy při obrábění nástrojovou nebo rychlořeznou ocelí.

Difuzní otěr - vzniká působením chemických vlivů při procesu obrábění. Chemické vlastnosti řezného a jeho afinita vůči obráběnému materiálu jsou nejdůležitější pro tento mechanismus. Tvrdost materiálu má jen relativně malý vliv. O podílu difuzního opotřebení rozhoduje chemické složení materiálů obrobku a břitu. Například afinita mezi slinutým karbidem a ocelí vede ke vzniku difuzního opotřebení. Důsledkem je vytvoření žlábků na čele břitu destičky. Toto opotřebení souvisí s teplotou, a tudíž při vyšších řezných rychlostech vzniká větší žlábek.

Oxidační otěr - souvisí s vysokými teplotami řezného procesu, které spolu s okolním vzduchem mají za následek oxidaci nástrojového materiálu. Vzniklé oxidy působí velmi rozdílně. Wolfram a kobalt tvoří porézní filmy oxidu, které jsou snadno odnášeny třískou. Oxid hlinitý je naproti tomu podstatně tvrdší a pevnější. Speciálně v místě kontaktu bříty, kde končí šířka třísky, má vzduch přístup do řezného procesu.

Adhezní otěr – se vyskytuje především při nízkých teplotách na čele bříty nástroje. Adhezní otěr je způsoben vytrháváním částic bříty v důsledku adhezních spojů mezi nástrojem a obrobkem. Je významný při nižších řezných rychlostech, kdy vzniká bodový styk mezi třískou a nástrojem, a kdy je umožněno adhezní spojení. Adhezní otěr je významný při obrábění s nástrojovou nebo rychlořeznou ocelí. Tento jev často vede k vytváření nárůstku mezi třískou a břitem. Tento jev má dynamický průběh s narůstajícím počtem vrstev, které jsou z třísky navařovány a vytrhávány a stávají se tak součástí bříty. Takto nárůstkem vytvořený břit může tvořit základ pro nové nárůstky na břitu, nebo může poškodit původní břit vydrolováním nebo výlomem.



Obr. 1 Základní mechanizmy opotřebení bříty [3]

1.1.2. Typy opotřebení

V závislosti na technologických podmínkách řezného procesu bývá různé opotřebení břitů a jejich kombinace.[3]

Opotřebení hřbetu (obr. 2) – patří mezi abrazivní formy opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše břitu. Plochy hřbetu u hlavního ostří, vedlejšího ostří, poloměru špičky a na čelní fasetce jsou před utvářením, během utváření a po utváření třísky zvlášť vystaveny působení materiálu obrobku. Opotřebení hřbetu je všeobecně obvyklým typem opotřebení. Stejnoměrně se zvětšující opotřebení hřbetu je často považováno za ideální. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobené plochy, nepřesnost rozměrů a narůstání tření, které vzniká změnou geometrie břitu.[6]

Opotřebení ve tvaru vrubu (obr. 3) - na hřbetě břitu patří k typickým adhezním opotřebením. Může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Toto opotřebení se omezuje přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblasti obrábění. Opotřebení ve tvaru vrubu na vedlejším hřbetu břitu má mechanické příčiny. Jejich původcem jsou tvrdé částice materiálu obrobku. Mimořádně velké opotřebení ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu destičky.[6]

Opotřebení ve tvaru žlábků (obr. 4) - na čele je důsledkem působení mechanismů difúzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká částečně úběrem řezného materiálu nástroje vyvolaného brousicím pochodem, který vzniká působením tvrdých částic obsažených v materiálu, ale zejména difúzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, tzn. v kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitu. Tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiály obrobku a břitu nástroje snižují tendenci ke vzniku tohoto opotřebení. Mimořádně velké opotřebení v podobě žlábků může změnit geometrii břitu a ovlivnit tak tvar třísky, změnit směr působení síly řezání a zeslabit břit.[6]

Plastická deformace (obr. 5) - vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit. U řezného materiálu nástroje, který těmto zatížením odolává a plasticky se nedeformuje, je tvrdost za tepla rozhodujícím faktorem. Typická deformace (vyboulení) břitu ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu, změny v odchodu třísek a může velmi rychle dosáhnout kritického stádia. Toto opotřebení lze zmenšit použitím vhodného řezného

materiálu s vyšší otěruvzdorností, správného zaoblení ostří a volbou správné geometrie.[6]

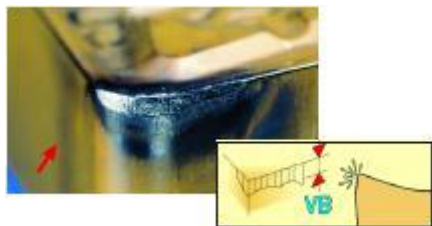
Tvorba nárůstků na břitu (obr. 6) - Tvorba nárůstku je v převážné většině případů fenoménem, vztahujícím se k teplotám a řezným rychlostem. Může však být způsobena i odlupováním vrstev v místě břitu nebo jinými formami opotřebení. Mimo změny geometrie břitu působí tato forma opotřebení negativně, protože se částice materiálu mohou odlomit. Afinita břitu k materiálu hraje v tomto případě rozhodující roli. Nízké teploty a vysoké tlaky vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování. Velká část moderních způsobů obrábění probíhá nad oblastí tvorby nárůstků a mnohé moderní řezné materiály nemají při správném použití k této formě opotřebení sklony. Prvním negativním důsledkem tvorby nárůstku je zhoršená jakost obrobeného povrchu. Nadměrná tvorba nárůstků může vést až k lomu břitu.[6]

Vydrolení ostří (obr. 7) - je formou opotřebení, při níž se břit místo stejnoměrného opotřebení vydroluje. Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že se drobné částice řezného nástrojového materiálu začnou oddělovat z povrchu břitu. Nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení je obrábění přerušovaným řezem. Pečlivé sledování břitu ukáže, kde je možné očekávat vydrolování. Odlupování materiálu a trhliny jsou příznaky, které upozorňují na možnost lomu břitu. Dalšími faktory způsobující tento typ opotřebení mohou být nevhodná volba řezného materiálu nebo nevhodná volba ostří.[6]

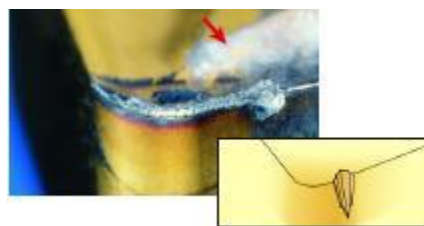
Tepelné trhliny (obr. 8) - Vznik tepelných (hřebenových) trhlinek na ostří je formou únavového opotřebení, které vzniká tepelným šokem. Zvláště změna teplot při frézování často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhlinky se tvoří kolmo na ostří. Přitom se mohou částice řezného materiálu mezi jednotlivými trhlínkami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu. Změnou tloušťky třísky se při obrábění změní rovněž teploty. Použití chladicích kapalin se nedoporučuje, protože zvyšuje rozdíl teplot při záběru břitu do materiálu obrobku a při výstupu z něj.[6]

Lom břitu (obr. 9) - nástroje představuje konec funkčnosti řezného elementu. Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za každých okolností zabránit. Lom břitu nástroje je nutné v každém případě považovat za konec trvanlivosti. Změny geometrie, oslabení břitu, nárůst teplot a sil mohou vést ke značným škodám. Křehký lom může být způsoben různými faktory. Velmi

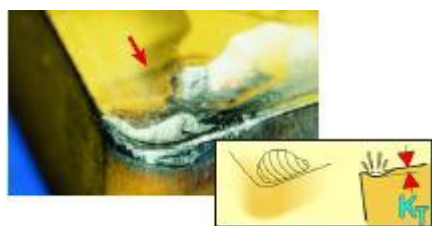
často je zvolený materiál bříty málo houževnatý na to, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění.[6]



Obr. 2 Opotřebení hřbetu [4]



Obr. 3 Opotřebení ve tvaru vrubu [4]



Obr. 4 Opotřebení ve tvaru žlábků [4]



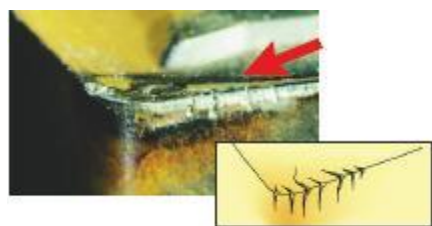
Obr. 5 Plastická deformace [4]



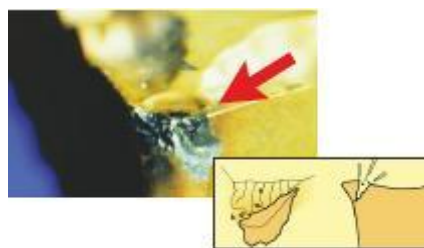
Obr. 6 Tvorba nárůstků na břítu [4]



Obr. 7 Vydrolování ostří [4]



Obr. 8 Tepelné trhliny [4]



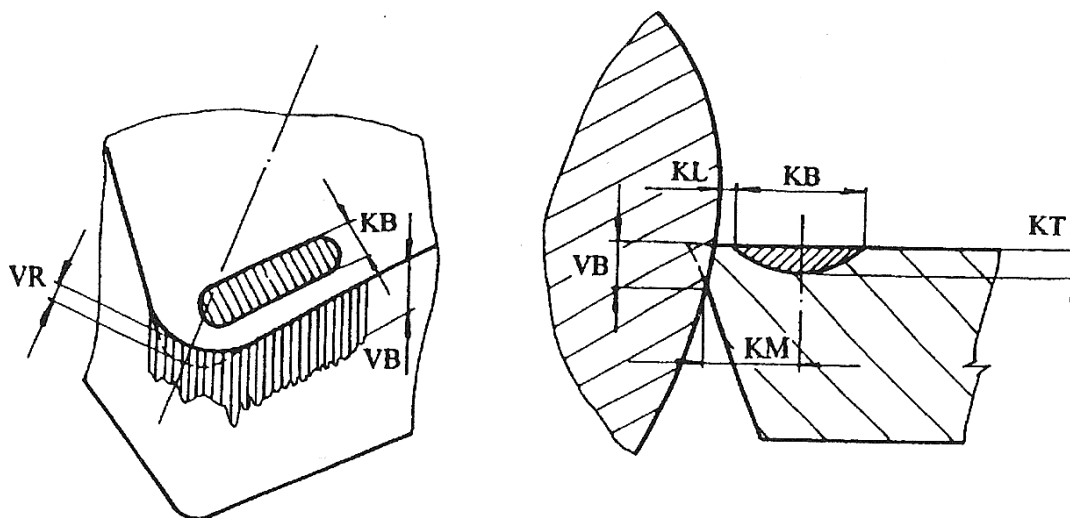
Obr. 9 Lom břítu [4]

1.1.3. Charakteristika opotřebení

Otupení bříty obráběcího nástroje lze určovat následujícími délkovými charakteristikami (obr. 10) [8]:

- šířka opotřebené plochy na hřbetu VB
- hloubka žlábků na čele KT
- šířka žlábků na čele KB
- vzdálenost od ostří k okraji žlábků KL

- vzdálenost od ostří ke středu žlábků KM
- radiální otupení VR
- objemem nebo hmotností opotřebovaného materiálu břitu



Obr. 10 Délkové charakteristiky otupení břitu [8]

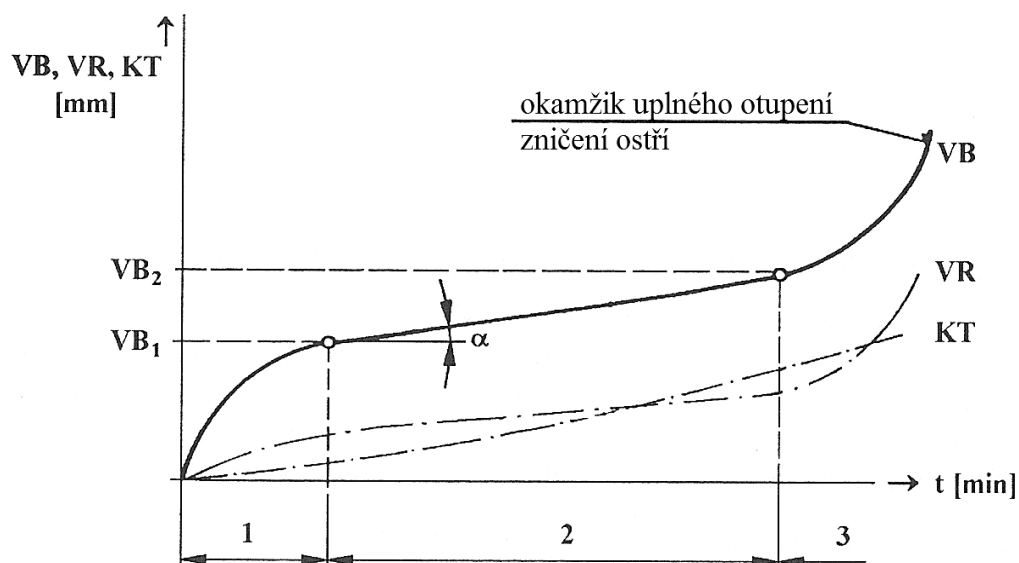
1.1.4. Časový průběh opotřebení

Průběh závislosti otupení na času obrábění lze vymežit tři charakteristické oblasti (obr. 11).[8]

1. oblast *počátečního otupování (rychlého záběhového opotřebení)* – ovlivňuje srovnávání vrcholů mikronerovností hřbetu a případná defektní povrchová vrstva hřbetu (vyvolaná podmínkami ostření nebo v důsledku výroby).[3, 8]

2. oblast *rovnoměrného otupování (lineárního opotřebení)* – jsou již srovnány vrcholky mikronerovností hřbetu a průběh otupení má prakticky lineárně stoupající tendenci (intenzita opotřebení je konstantní).[3, 8]

3. oblast *zrychleného otupování (nadměrného opotřebení)* – počáteční bod této oblasti je obvykle spojen s limitní teplotou řezání a s výrazným poklesem tvrdosti rezného materiálu.[3] Nastává rychlé (lavinovité) opotřebení, může skončit i případným zničením břitu.[3, 8]



Obr. 11 Průběh typického otupení na čase [8]

1.2. Trvanlivost břitu nástroje

Trvanlivost je doba, po kterou je nástroj schopen plnit potřebnou práci, a je je tedy určena časem od nasazení nového (naostřeného) nástroje do obrábění po kritérium vzniku poruchy, která zapříčiní konec provozuschopnosti nástroje. [3, 5]

Jako kritérium vzniku poruchy na nástroji se mohou diagnostikovat parametry [3]:

- opotřebení břitu
- stav povrchu obrobené plochy
- úchylka rozměru obrobené plochy
- utváření třísky
- velikost řezné síly

Stejně jako v technologické praxi, tak i v případě této diplomové práce, je kritérium trvanlivosti zvoleno opotřebení břitu nástroje.[3]

Trvanlivost břitu nástroje se nejčastěji udává jako čas břitu stráveného v řezném procesu nebo jako dráha řezu. Při vrtání děr se trvanlivost udává jako délka obrobených děr.[3]

Trvanlivost břitu T je obecně závislá na řezných podmínkách. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti se pro jinak konstantní podmínky popisuje

Taylorovým vztahem ve tvaru [3]:

$$T = \frac{C_T}{v_c^{m_T}} \quad [\text{min}] \quad (1)$$

Nebo se uvádí ve tvaru:

$$v_c = \frac{C_V}{T^{\frac{1}{m_T}}} \quad [\text{min}] \quad (2)$$

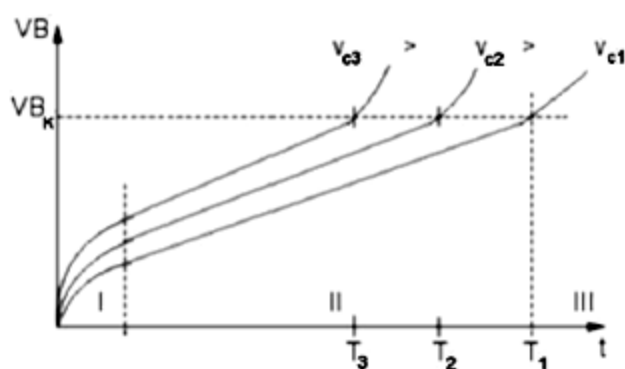
$$\text{Kde: } C_V = C_T^{\frac{1}{m_T}} \quad [\text{min}] \quad (3)$$

Konstanta C_T závisí především na materiálu obrobku a nástroje a nabývá hodnot 10^8 až 10^{12} . [3]

Velikost exponentu m_T charakterizuje především vlastnosti řezného nástroje a nabývá hodnot pro [3]:

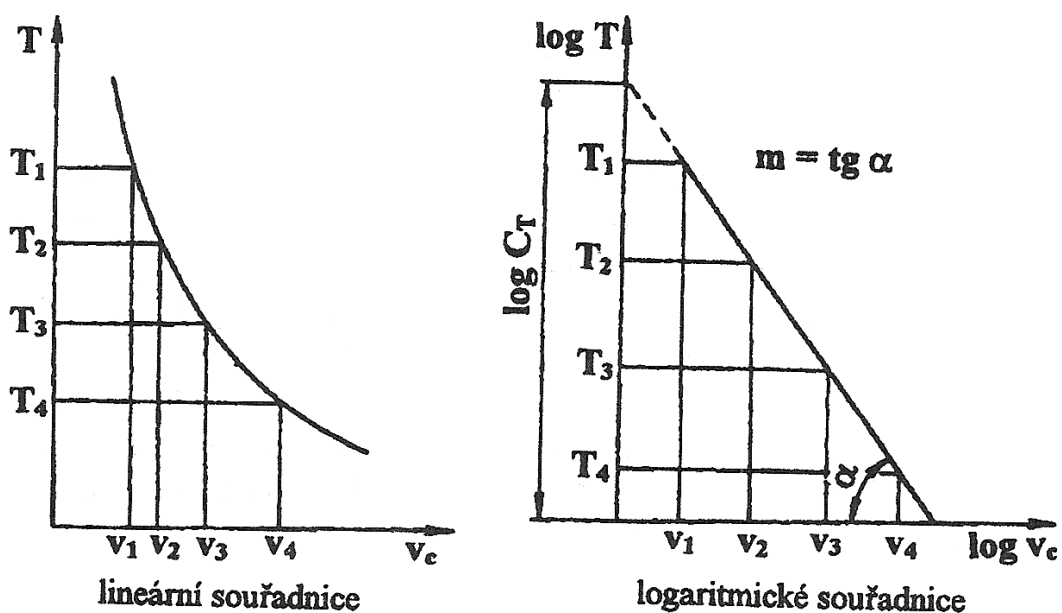
nástrojové oceli	10-8	[-]
rychlořezné oceli	8-5	[-]
slinuté karbidy	5-2,5	[-]
řezná keramika	2,5-1,5	[-]

Stanovení trvanlivosti břitu T pro kritické opotřebení hřbetu VB_k se provede při zvolených řezných rychlostech v_c (obr.12), kde $T_1 > T_2 > T_3$ a $v_{c1} > v_{c2} > v_{c3}$. [3]



Obr. 12 Stanovení trvanlivosti břitu T [5]

Průběh závislosti (1) znázorněný v lineárních a logaritmických souřadnicích (obr. 13). [3]



Obr. 13 Průběh závislosti T [3]

2. Kvalita povrchu

Při použití jakékoliv technologické metody vzniká obrobená plocha, která je vytvořena díky geometrických a kinematických vztahům nástroje a obrobku. Je podmíněna řadou průvodních jevů, které je nutné znát pro jejich ovlivňování a řízení. Každý výrobek musí být vyroben v potřebné jakosti, která je měřitelná pomocí vlastností materiálu, přesností rozměru a tvaru, drsností a vlastnostmi povrchové vrstvy.[9]

Obrobená plocha může být hodnocena z mnoha hledisek. Hlavní hlediska jsou [9]:

- *Topografii povrchu obrobené plochy (změny reliéfu, tvaru a textury)* - sem patří především textura povrchu a její sledování v jednotlivých řezech, nebo v celé funkční ploše.
- *Změny vlastností povrchové vrstvy* - v sobě zahrnuje změny, které nastaly v povrchové vrstvě materiálu součásti v důsledku operace, kterou se dokončovala sledovaná plocha.

Základními údaji pro hodnocení povrchu jsou parametry: drsnost povrchu, mikrotvrdost, fázové transformace, zbytková napětí.[9]

2.1. Drsnost povrchu

Při použití jakékoliv technologické metody vzniká na povrchu technických ploch nerovnost, která má velký význam při funkci těchto ploch.[6]

2.1.1. Nerovnosti

Drsnost - je nejmenší nerovnosti vznikající v procesu výroby, způsobené působením řezného nástroje. Řezný nástroj zanechává na povrchu stopy, které mají periodický nebo aperiodický tvar. Drsnost je tedy spíše následkem dokončovací metody, než působení obráběcího stroje.[10]

Vlnitost - je rozměrnější nerovnosti, na které je superponována drsnost. Většinou jsou způsobeny kmitáním nebo deformací obrobku, případně pnutím v materiálu součásti. Vlnitost je tedy přisuzována především vlastnostem obráběcího stroje.[10]

Úchyly tvaru - jsou to největší nerovnosti profilu povrchu, které vznikají bez ohledu na drsnost a vlnitost. Úchyly tvaru jsou nejčastěji způsobeny nedostatečně tuhým upnutím obrobku, nerovností vodících ploch a deformací při vyšších teplotách.[10]

2.1.2. Filtry profilu

Reálný povrch je většinou tvořen kombinací těchto tří nerovností. Při posuzování určité složky nerovnosti je tedy nutné další odfiltrovat a to pomocí filtrů dle ČSN EN ISO 11562 [10]:

λ_s - filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu.

λ_c - filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti.

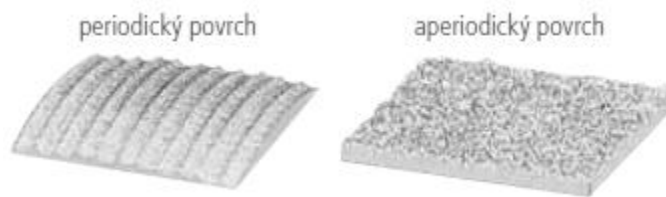
λ_f - filtr definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu.

2.1.3. Povrch

Je hranice objektu od jiného objektu nebo prostředí (obr. 14).[10]

Periodický – vzniká při třískovém obrábění jako stopa po stroji.[10]

Aperiodický – vzniká například při broušení nebo vyjiskřování.[11]



Obr. 14 Periodický a aperiodický povrch

2.1.4. Profil

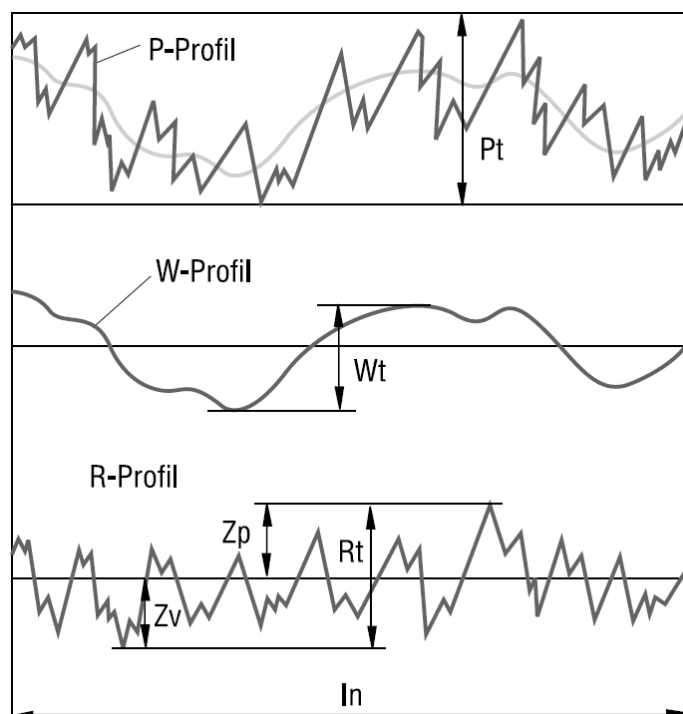
Protože povrch představuje prostorový útvar, problém posuzování nerovností se řeší redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu. Tím se získá profil, který je základním zdrojem informací.[6]

Dle normy ČSN EN ISO 4287 lze rozlišit tyto typy profilů povrchu (obr. 15) [10, 11]:

P-profil - nefiltrovány základní profil

R-profil - profil drsnosti odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných.

W-profil - profil vlnitosti vytvořený ze základního profilu potlačením krátkovlnných složek.



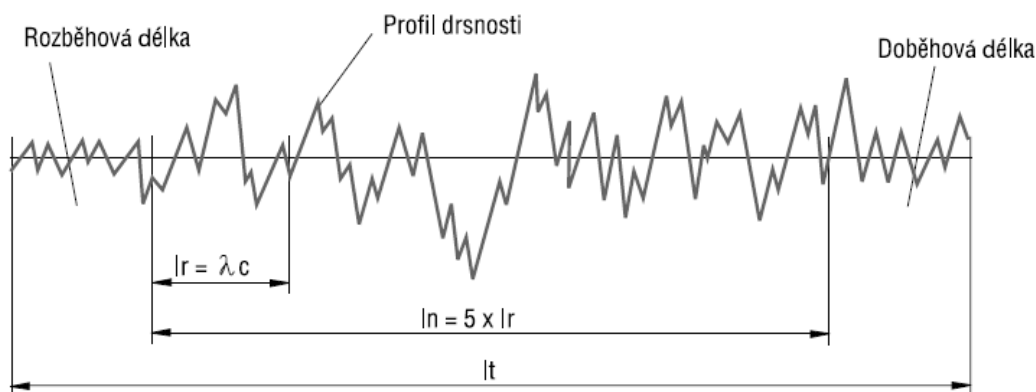
Obr. 15 Typy profilu [11]

2.1.5. Měřené délky (obr. 16)

Základní délka l_r - délka ve směru osy x používaná pro rozpoznání nerovností charakterizující daný profil.[6]

Vyhodnocovaná délka l_n – délka ve směru osy x na které se profil vyhodnocuje.[6] Tato délka obsahuje několik základních délek.[10]

Celková délka l_t - délka pohybu snímače, během níž dochází k snímání úchylek tvaru povrchu.[10]



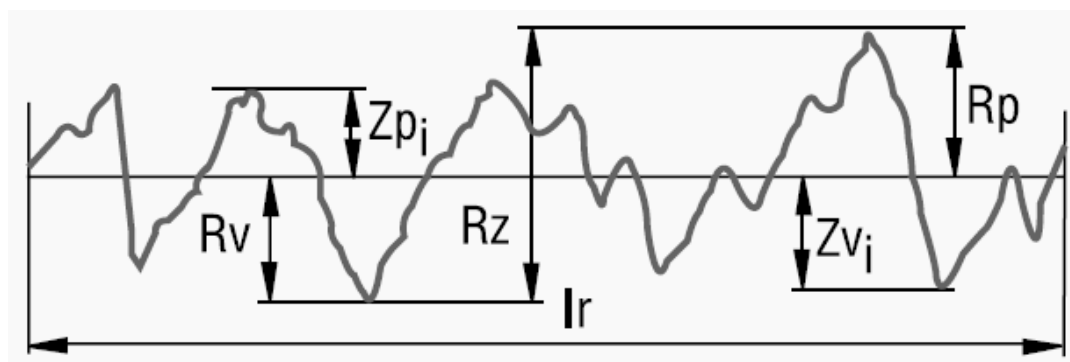
Obr. 16 Měřené délky [11]

2.1.6. Výškové parametry profilu

Největší výška výstupku R_p (obr. 17) – největší výška výstupku profilu Z_p v rozsahu základní délky.[10]

Největší hloubka prohlubně profilu R_v (obr. 17) – největší hloubka prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky.[10]

Největší výška profilu R_z (obr. 17) – součet největší výšky profilu Z_p a největší hloubky profilu Z_v v rozsahu základní délky.[10]



Obr. 17 Výškové parametry profilu R_v R_z R_p [11]

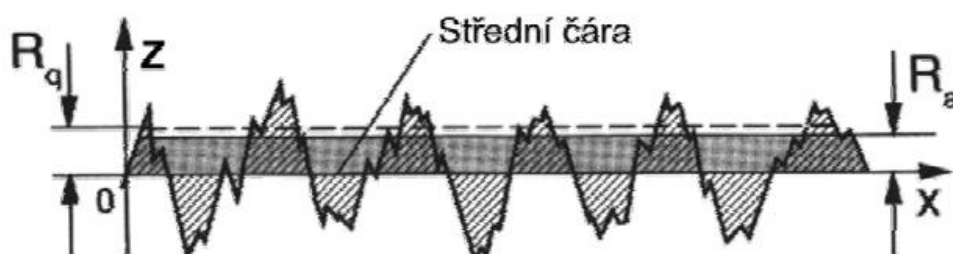
Střední aritmetická úchylka profilu R_a (obr. 18) – aritmetický průměr absolutních hodnot $Z(x)$ v rozsahu základní délky. Tato hodnota zcela přesně

nevypovídá o dané drsnosti, protože R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky a hloubky měřeného profilu.[6]

$$R_a = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx \quad [\mu\text{m}] \quad (4)$$

Průměrná kvadratická úchylka profilu R_q (obr. 18) – průměrná kvadratická hodnota odchylek $Z(x)$ profilu v rozsahu základní délky. Parametr R_q má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic. [6]

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z(x)^2 dx} \quad [\mu\text{m}] \quad (5)$$

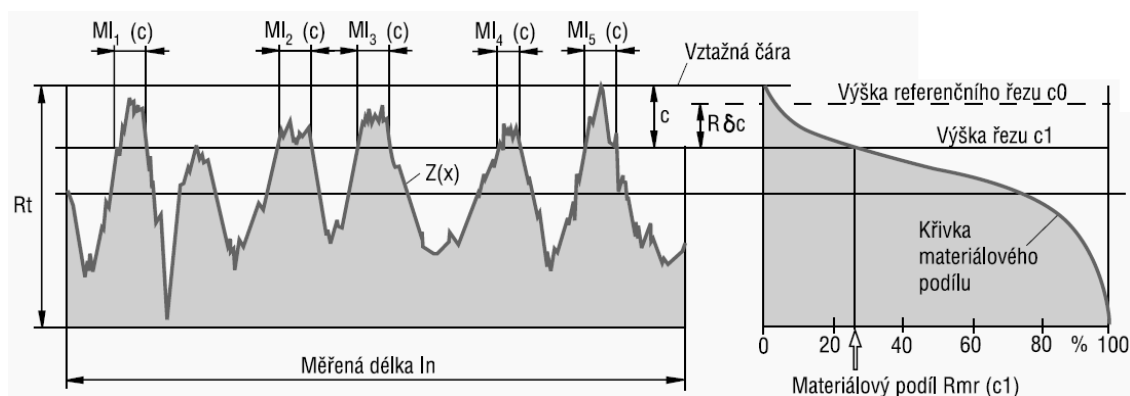


Obr. 18 Vyskové parametry profilu R_q R_a [10]

2.1.7. Křivky a odpovídající parametry

Materiálový poměr profilu R_{mr} (nosný podíl) (obr 19) - Poměr délky materiálu elementů profilu $MI(c)$ na dané úrovni c k vyhodnocované délce.[10]

Křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka) - Křivka představující materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovně.[10]



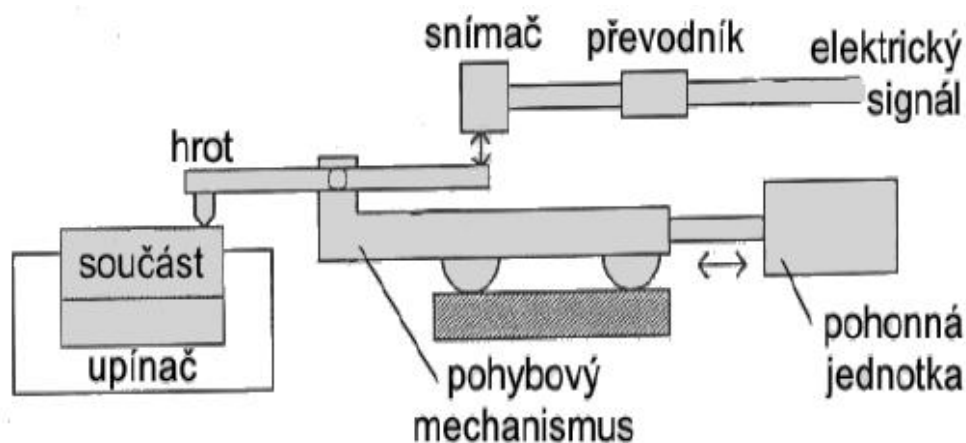
Obr. 19 Parametry profilu R_{mr} [11]

2.2. Měření drsnosti

Je několik možností jak měřit drsnost povrchu např. porovnání s etalony drsnosti, metoda světelného řezu, využití interference světla.[6] Nejpoužívanější a nejrozšířenější metodou měření povrchu je *dotyková metoda*.

2.2.1. Dotyková metoda

Mechanická část snímá pomocí hrotu nerovnosti povrchu. Vertikální pohyb hrotu je v převodníku převeden na elektrický signál, který je zpracován do číselné hodnoty parametrů struktury povrchu nebo do grafického záznamu profilu. Zpracování naměřených dat se provádí no buď přímo ve vyhodnocovací části profilometru, nebo s využitím dodávaného softwaru v počítači.[10]



Obr. 20 Schéma přístroje [10]

3. Procesní prostředí

Procesní prostředí má významný vliv na kvantitativní, kvalitativní a ekonomické parametry rezného procesu.[6] Řezné prostředí je tvořeno [12]:

plynné prostředí - vzduch (bez PK), Interní plyn, Mlha

kapalně prostředí – vodou mísitelné a nemísitelné

tuhé maziva

Všechna tato média jsou vyrobena a užívána tak, aby splňovala technologické požadavky na chladicí, mazací a čisticí účinek. K dalším důležitým specifickým požadavkům lze zařadit provozní stálost, ochranný účinek, zdravotní nezávadnost a přiměřené provozní náklady.[6]

3.1. Technologické požadavky na řezná média

3.1.1. Chladicí účinek

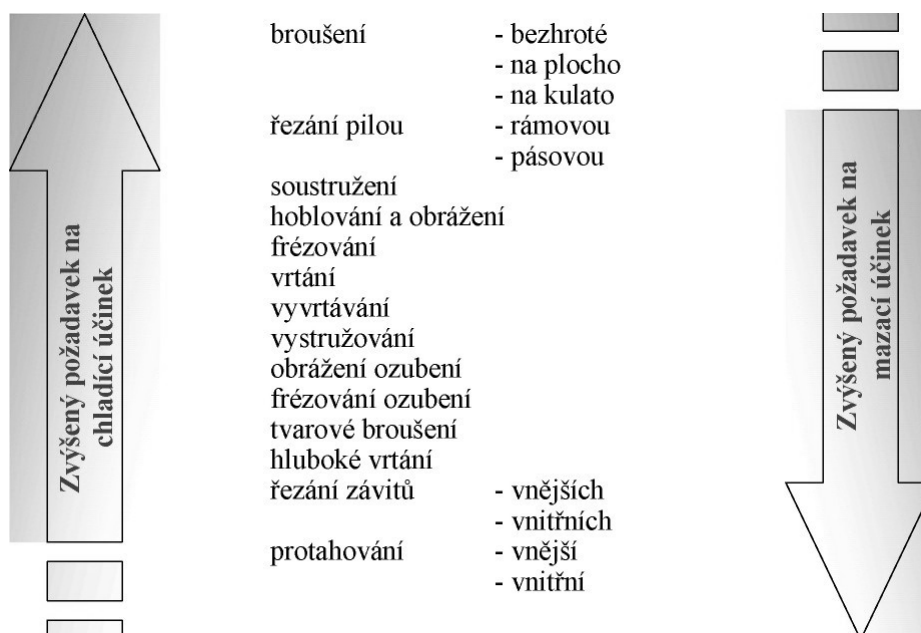
Chladicím účinkem se rozumí schopnost řezného média odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každé médium při styku s povrchem kovů, za předpokladu, že mezi povrchem obrobku a médiem existuje tepelný spád. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že řezné médium smáčí nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla. Důsledkem ochlazení je snížení teploty řezání, což má příznivý vliv na opotřebení a trvanlivost nástroje i na jakost obrobené plochy (nižší hodnoty zbytkových napětí).[6]

Chladicí účinek řezného média závisí na jeho smáčecí schopnosti, na výparném teple, rychlosti vypařování za určitých teplot (přílišné odpařování řezného média není žádoucí), tepelné vodivosti, měrném teple a průtokovém množství. Čím budou tyto veličiny větší, tím bude chladicí účinek řezného média vyšší.[6]

3.1.2. Mazací účinek

Mazací účinek je umožněn tím, že médium vytváří na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, zde nemůže dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření, má-li řezné médium velkou afinitu ke kovu, nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky, v mikroskopické povrchové mezní vrstvě. Mazací účinek znamená zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek řezného média se uplatní zejména u dokončovacích obráběcích operací, ale také při protahování, výrobě závitů nebo výrobě ozubení.[6]

Mazací schopnost řezného média je závislá na viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. Negativní důsledkem vyšší viskozity je omezení průniku média mezi třecí plochy, zhoršení jeho proudění a snížení odvodu tepla. Viskóznější médium ve větším množství ulpívá na třískách, čímž dochází k jeho značným ztrátám. Pevnost mazací vrstvy se zvyšuje přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají pronikání do trhlin deformovaného kovu a usnadňují tak vlastní proces řezání.[6]



Obr. 21 Doporučení na požadavky u PK [23]

3.1.3. Čistící účinek

Čistící účinek řezného média je zejména v odplavování třísek z místa řezu. Čistící účinek je hodně znatelný zejména při broušení (zlepšení řezivosti brousicího kotouče v důsledku vyplavování zanesených pórů, zabránění slepování částic třísky a usnadnění jejich usazování), řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr.[6]

3.1.4. Provozní stálost

Měřítkem provozní stálosti řezného média je doba jeho výměny. Dlouhá doba mezi jednotlivými výměnami média je podmíněna tím, aby se jeho vlastnosti byly stálé. Stárnutí řezného média olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností média, jeho rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátu ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad. Životnost PK závisí na jeho fyzikálních a chemických vlastnostech a na pracovní teplotě.[6]

3.1.5. Ochranný účinek

Ochranný účinek řezného média se projevuje tím, že nenapadá kovy a nepůsobuje korozi. Tento požadavek je důležitý proto, aby nebylo nutné výrobky mezi jednotlivými operacemi konzervovat a aby byl obráběcí stroj chráněn před korozí. Pro zvýšení antikorozního účinku jsou do řezného média přidávány

pasivační přísady. Dalším důležitým požadavkem je, aby řezné médium nerozpouštělo nátěry obráběcích strojů a nebylo agresivní vůči gumovým těsněním.[6]

3.1.6. Zdravotní nezávadnost

U PK je pravděpodobné, že přijde do styku s obsluhou stroje, proto se klade požadavek na zdravotní nezávadnost. Proto médium nesmí být zdraví škodlivé, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku, nesmí být jedovaté a nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. Jeho zdravotní nezávadnost závisí také na jeho provozní stálosti a čistotě. Z těchto hledisek je nutné, aby se dbalo na zajištění základní hygienická opatření, jako je větrání (někdy je nutné), umývání, preventivní ochrana pokožky atd.[6]

3.1.7. Přiměřené provozní náklady

Přiměřené provozní náklady souvisí především se spotřebou řezného média. Při rozboru nákladů je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění (průběh plastických deformací v zóně řezání, opotřebení, trvanlivost, ostření nebo výměna nástroje, změny struktury povrchu obrobené plochy, spotřeba energie). Po tomto následuje hodnocení řezného média s ohledem na jeho provozní stálost, spotřebu, výměnu a náklady na likvidaci. Hodnocení dle cenových rozdílů je nedostatečné, protože cena řezného média není tím hlavním parametrem, který by rozhodujícím způsobem ovlivňoval ekonomii obrábění.[6]

3.2. Procesní kapaliny

Procesní kapaliny lze členit na kapaliny s větším chladicím účinkem a kapaliny s větším mazacím účinkem. Toto rozdělení však přesně nevystihuje sortiment kapalin na trhu. Stále více se totiž projevuje požadavek tyto vlastnosti dosáhnout u jediné kapaliny. Všechny moderní druhy řezných kapalin tento požadavek plní, čímž je prakticky rozdíl mezi skupinami stírán.[6]

Do druhů procesních kapalin můžeme zařadit [6]:

- vodní roztoky
- emulzní kapaliny
- řezné oleje
- syntetické a polysyntetické kapaliny.

3.2.1. Vodní roztoky

Vodní roztoky jsou nejjednodušší a nejlevnější řezné kapaliny, neposkytují však žádné další výhody. Voda, která je jejich základem, vyžaduje řadu úprav - změkčování a přidávání přísad proti korozi (kalcinová soda trinitriumfosfát, triethanolamin), pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický. U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. Vodní roztoky mají velmi dobrý chladicí a čistící účinek, ale téměř žádný mazací účinek.[6]

3.2.2. Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé (olej ve vodě). Aby toto bylo umožněno, je třeba do této soustavy přidat ještě třetí složku, tzv. emulgátor zmenšující mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin, stabilizující emulzi a zabraňující koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě. Funkce emulgátoru je podmíněna tím, že některé jeho částice mají na jednom konci silný elektrický náboj, zatímco druhý, neutrální konec je rozpustný v oleji. Záporný náboj polární části molekuly způsobuje, že olejové částice jsou elektrostatickou silou vzájemně odpuzovány, což brání jejich spojování.

Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze, s jejímž nárůstem klesá. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH emulze (pro slitiny na bázi železa postačuje hodnota $\text{pH} = 8\div 9$), ale v daleko menší míře než u vodných roztoků. Emulzní kapaliny se používají asi 80 % z celkového objemu a jsou tedy nejčastěji používanými řeznými kapalinami.[6]

3.2.3. Řezné oleje

Jsou to kapaliny na bázi minerálních olejů. Přísady, které se používají (mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva), zvyšují jejich tlakovou únosnost a mazací vlastnosti. Mastné látky jsou zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují jeho mazací schopnosti, ne však za extrémních tlaků. Organické sloučeniny jsou vytvořeny na bázi síry, chloru, nebo fosforu. Všechny

tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady. Na povrchu předmětů vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, která zabraňují svařování a usnadňují kluzný pohyb troucích se ploch. Sloučeniny s chlorem zmenšují tření, ale jejich účinnost klesá při teplotách

nad 400°C. Sloučeniny s fosforem mají vyšší účinek a jako nejúčinnější se projevily kombinace sloučenin síry, chloru a fosforu.[6]

Pevná maziva, která se používají jako přísady do řezných olejů, působí při řezání navíc mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu, odolnou proti tlakům a zlepšují mazací schopnosti oleje. Mezi pevná maziva patří grafit a sirník molybdenu. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu.[6]

3.2.4. Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tento druh řezných kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Syntetické řezné kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel (glykolů, které ve vodě emulgují, nebo se rozpustí). Glykoly jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího procesu.[6]

Aplikace syntetických řezných kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, dobrý čisticí účinek a jednoduchou přípravu. V syntetických řezných kapalinách je možné rovněž rozptýlit oleje, čímž vznikají polysyntetické řezné kapaliny, které mají příznivější mazací schopnosti.[6]

3.3. Účinky řezné kapaliny na frézování

Změna teplot je způsobena, jak břit neustále vstupuje do záběru a zase z něj vystupuje. Břit je tak vystaven tepelným rázům a cyklickému namáhání, což může mít za následek vznik trhlin a v nejhorším případě může vést až předčasnému ukončení faktické životnosti nástroje. Čím vyšší je teplota v místě řezu, tím méně vhodné je použití řezné kapaliny. U dokončovacích operací nezpůsobuje použití řezné kapaliny tak významné zkrácení životnosti nástroje, jako je tomu v případě hrubovacích operací, jelikož při dokončování vzniká menší množství tepla.[4]

4. Technologie Frézování

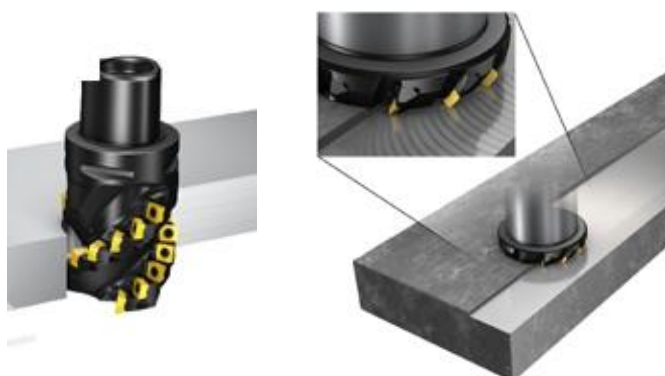
Frézování je obrábění zpravidla rovinných nebo tvarových ploch vícebřitým nástrojem. Nástroj bývá nejčastěji válcový s břity umístěnými na obvodu a čele.[1] Hlavní řezný pohyb (otáčivý) vykonává nástroj (fréza) a obrobek koná pohyb posuvný nejčastěji kolmo k ose nástroje. U moderních strojů jsou pohyby plynule měnitelné a mohou být ve všech směrech. Řez je přerušovaný zub odřezává krátké třísky, které mají proměnlivý průřez.[2, 3]

4.1. Rozdělení frézování

Rozeznáváme dva základní způsoby frézování dle polohy osy nástroje k obráběné ploše (obr. 22) [2]:

Frézování válcové – fréza řeže zuby po obvodě

Frézování čelní - fréza řeže současně zuby po obvodě tak i na čele



Obr. 22 Válcové a čelní frézování [4]

Dle směru otáčení frézy vůči posuvu obrobku (obr. 23) rozdělujeme frézování na [3]:

Sousledné - Kde smysl otáčení frézy je ve směru posuvu obrobku. Průběh třísky je od maxima k minimu. Řezné síly mají tendenci přitahovat obrobek směrem k fréze a udržovat tím břit v řezu. Z tohoto důvodu, pokud je fréza příliš vtahována do řezu, je potřeba vymezit vůle v posuvovém mechanismu stroje, aby nedošlo k případné destrukci nástroje.[2]

Sousledné frézování [7]

výhody :

- vyšší trvanlivost nástrojů
- použití vyšších řezných rychlostí a posuvů
- potřebný nižší řezný výkon pro obrábění
- jednodušší upínání (řezné síly přitlačují obrobek ke stolu)
- menší sklon ke kmitání
- obrobená plocha dosahuje vyšší jakosti

nevýhody:

- nevhodné při obrábění polotovarů s tvrdým a znečištěným povrchem
- rázy při vstupu nástroje do záběru
- silová zátěž každého zubu při záběru

Nesousledné – kdy smysl rotace frézy jde proti pohybu obrobku. Průběh třísky je od minima k maximu. K obrábění nedochází hned po najetí břitu na obrobek, ale až po dosažení určité tloušťky třísky, předtím dochází k přechování materiálu a ke tření hřbetu o obrobek. Čímž se snižuje trvanlivost břitu a zhoršuje kvalita povrchu. Řezné síly mají snahu tlačit nástroj a obrobek směrem od sebe a zvedají obrobek.[2] Velká tloušťka třísky a vyšší teploty na výstupu z řezu jsou někdy důvodem k ulpívání nebo navařování třísek na břit, na kterém jsou unášeny až do zahájení dalšího řezu, nebo mohou způsobovat okamžité vylamování.[4]

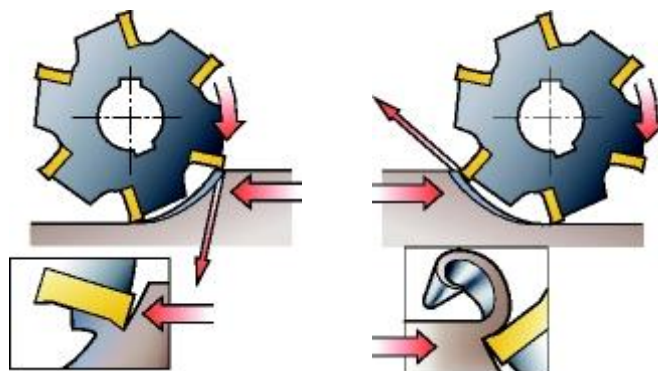
Nesousledné frézování [7]

výhody:

- menší opotřebení stroje
- počáteční záběr zubů nezávisí na hloubce řezu
- na trvanlivost nástroje nemá až tak významný vliv povrch obrobku

nevýhody:

- zhoršená jakost obrobené plochy
- výstup nástroje z řezu, možnost ulpění třísky na břit.
- směr síly frézování s ohledem na upnutí



Obr. 23 Sousedné a nesousedné frézování [4]

4.2. Definice pojmů a jejich výpočet [4]

Řezná rychlost v_c – Je obvodová rychlost na průměru nástroje v řezu.

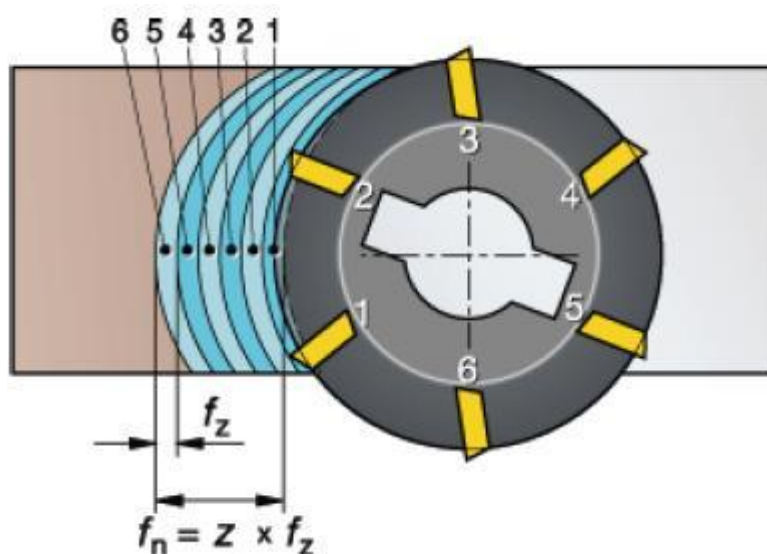
$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad [m/min] \quad (6)$$

Otáčky n – Otáčky nástroje za jednu minutu. Otáčky se stanoví z hodnoty řezné rychlosti doporučené pro materiál a řezný nástroj. Tento parametr jsem navolil na panelu frézky.

Posuv stolu za minutu f - také *rychlost posuvu* Představuje postup nástroje vůči obrobku. Tento parametr jsem navolil na panelu frézky.

Posuv na zub f_z (obr. 24) – stanoví maximální velikost třísky na jeden zub.

$$f_z = \frac{f}{n \cdot z} \quad [mm] \quad (7)$$



Obr. 24 Posuv na zub f_z [4]

Posuv na otáčku f_n - Hodnota, která vyjadřuje, o jakou vzdálenost se nástroj posune za jednu celou otáčku. Při mém měření se $f_n = f_z$ a to z důvodu osazení pouze jednoho břitového lůžka.

Čas obrábění t – čas, po kterou byl nástroj v záběru.

$$t = \frac{L}{f} \quad [\text{min}] \quad (8)$$

5. Konstrukční oceli

Jsou označovány jako méně legované oceli, které se používají nejvíce ve strojírenství a stavebnictví např. jako ocelové konstrukce a strojní součásti atd.[16]

5.1. Řazení konstrukční oceli dle ČSN

Do konstrukční oceli se řadí oceli dle ČSN třídy 10 až 17. Jednotlivé třídy mají svojí charakteristiku. [15, 16, 17, 19]

Třída 10 - Též bývá nazývána jako stavební. Je to ocel obvyklé jakosti, nelegovaná má předepsané mechanické vlastnosti a chemické složení není dáno. Tyto oceli mají většinou nízký obsah uhlíku do 0,2%. Používají se v jako výztuže do betonu, kolejnice a další.

Třída 11 - Ocel obvyklé jakosti, nelegovaná má předepsané mechanické vlastnosti a chemické složení je dáno u prvků uhlík(C), fosfor(P) a síra(S). Do 0,2% uhlíku jsou dobře svařitelné. Zaručená svařitelnost se pozná dle páté číslice 3 (např.:11 373, 11 523). V této třídě se nachází i tzv. automatové oceli, které obsahují až 0,2% síry. Tyto oceli mají dobrou obrobitelnost, kvalitu povrchu a dobrou lámavost třísky při velké řezné rychlosti.

Třída 12 - Ocel ušlechtilá uhlíková určena k cementování a zušlechťování prokalitelné až do průměru 40 mm.

Třída 13 - Ocel nízkolegovaná s legurami manganem a křemíkem. Používá se tam, kde už nevyhovuje ušlechtilá uhlíková ocel a chromová nebo chromniklová by byla příliš drahá. Tyto oceli se používají jako pružinové oceli pro svou vysokou pružnost a dostatečnou houževnatost.

Třída 14 - Ocel ušlechtilá, slitinová a nízkolegovaná s legurami chrom, křemík, mangan a hliník. Je určena k cementování, zušlechťování, kalení a nitridování. Používá se na součástky s velkou povrchovou odolností.

Třída 15 - Ocel ušlechtilá slitinová nízkolegovaná určená k tepelnému zpracování s legurami chrom, vanad, molybdenem a wolfram. Používají se především na vysokotlaké kotle a trubky, u parních turbin a další součástí namáhané na teplo. Po cementování, zušlechtění, kalení a nitridaci, se používá na namáhané strojní součásti a to zejména v konstrukci automobilových vozidel a letadel.

Třída 16 - Ocel ušlechtilá, slitinová, nízko a středně legovaná určená k tepelnému zpracování s legurami nikl v kombinaci s chromem, molybdenem, vanadem, wolframem. Dobře prokalitelné a umožňuje docílit vysoké meze kluzu a pevnosti při dobré houževnatosti. Vhodná použít na velmi namáhané strojní součásti.

Třída 17 - Ocel ušlechtilá, slitinová, středně a vysokolegovaná určená k tepelnému zpracování s legurami převážně chrom a nikl. Do této třídy patří korozivzdorná, chirurgická a žáruvzdorná ocel. Požívá se např. v chirurgii, na kuchyňské potřeby a ve sklářských pecích, kde je vystavena vysokým teplotám a není příliš namáhána.

5.2. Ocel 14 220

Tato ocel je jedna z nejznámějších a nejpoužívanější z cementačních ocelí. Jedná se o konstrukční, nízkolegovanou a Mangano-chromovou ocel. Ocel je dobře tvářitelná za tepla, po žíhání na měkko i za studena, se zaručeným rozmezím prokalitelnosti. Je dobře obrobitelná. Pro hladké obrábění se doporučuje ocel zušlechtěná na pevnost 690 - 880 MPa. Optimální zušlechtění do Ø 35 mm, k cementování s velmi tvrdou cementovanou vrstvou s velkou pevností v jádře. Svařitelnost dobrá. Ze značení této oceli vyplývá, že patří do třídy 14 dle ČSN. Třetí číslice vyjadřuje součet středních obsahů legovacích prvků v procentech, zaokrouhlený na nejbližší celé číslo. Čtvrtá číslice vyjadřuje střední obsah uhlíku v desetinách procenta se zaokrouhlením na vyšší desetinné číslo. Používá se pro hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky a jiné.[15, 18, 19]

Základní parametry ocele 14220:

Uvedené parametry jsou pouze základní, podrobnější informace - viz příloha 1.

Onačení:	ČSN	41 4220	
	EURO 16MnCr5		
Chemické složení:	C	0,14-0,19	[%]
	Mn	1,10-1,40	[%]
	Cr	0,8-1,10	[%]
Mechanické vlastnosti:	R _e	590	[MPa]
	R _m	785	[MPa]
	HB	239	[-]

II. Experimentální část

6. Popis strojů, přístrojů a použitých PK.

Frézování bylo prováděno na frézce FNG32. Pro měření byly použity tyto přístroje: nástrojová lupa Brinell, mikroskop Arsenal SZP 3112 – T a laboratorní profiloměr Mitutoyo SV - 2000 N2.

Všechny použité stroje a měřicí přístroje se nachází v laboratoři KOM TU v Liberci.

Druhy kapalin určených na měření byli ERO-SB, ERO-SB PLUS, EOPS 1030, EOPS 2040, LACTIC od společnosti PARAMO, a.s.

6.1. Nástrojová frézka FNG 32

Frézování se provádělo na nástrojařské frézce FNG 32 (obr. 25) od TOS Olomouc, s.r.o., která je vybavena číslíkovou indikací polohy od firmy HEIDENHAIN s.r.o. (obr. 26).

Tento stroj je určen pro frézovací, vrtací, vyvrtávací a závitové operace v malosériové výrobě. Stroj je vybaven vertikální hlavou a pevným úhlovým stolem. Dokonalé upnutí nástroje je zajištěno pneumaticko-hydraulickým upínáním nástroje. Optimální mazání funkčních ploch je zajištěno pomocí mazacího agregátu s dávkovači. Stroj je rovněž vybaven chlazením nástroje, svítidlem a bezpečnostním krytem pracovního prostoru.

Technické parametry a hlavní rozměry frézky FNG 32:

Uvedené rozměry a technické parametry jsou pouze základní, podrobnější informace - viz příloha 2.

Výkon hlavního motoru:	4,0	[kW]
Maximální zatížení stolu:	350	[kg]
Vertikální vřetenno: rozsah otáček	50-4000	[ot/min]
Pracovní zdvih: podélný (X)	600	[mm]
	příčný (Y)	400 [mm]
	svislý (Z)	400 [mm]

Posuvy:	počet stupňů	plynule	
	Rozsah (X, Y)	15-1000	[mm]
	Rozsah (Z)	6-400	[mm]
Hmotnost:		2500	[kg]
Zastavěná plocha:		2070x2120	[mm]
Výška:		2115	[mm]



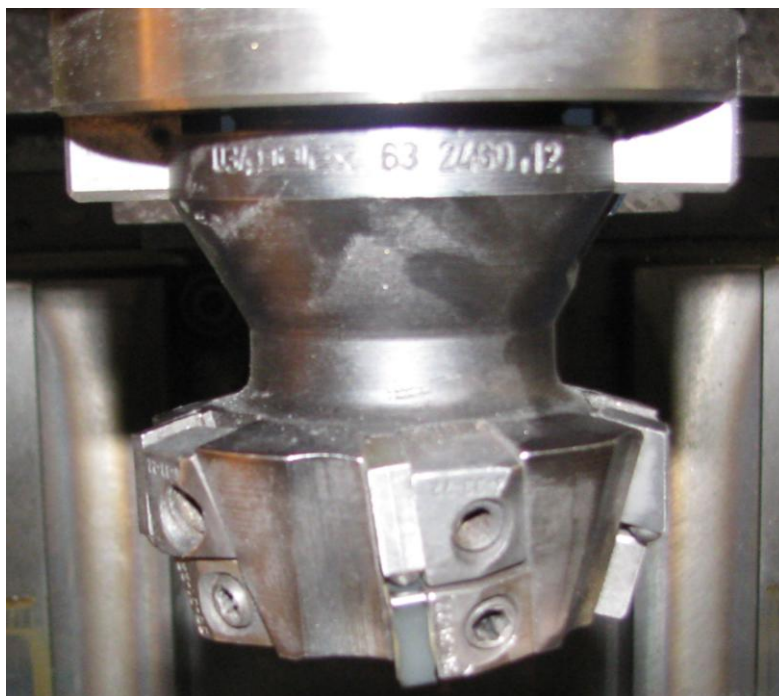
Obr. 25 Nástrojařská frézka FNG 32



Obr. 26 Číslicový indikátor polohy HEIDENHAIN

6.2. Fréza

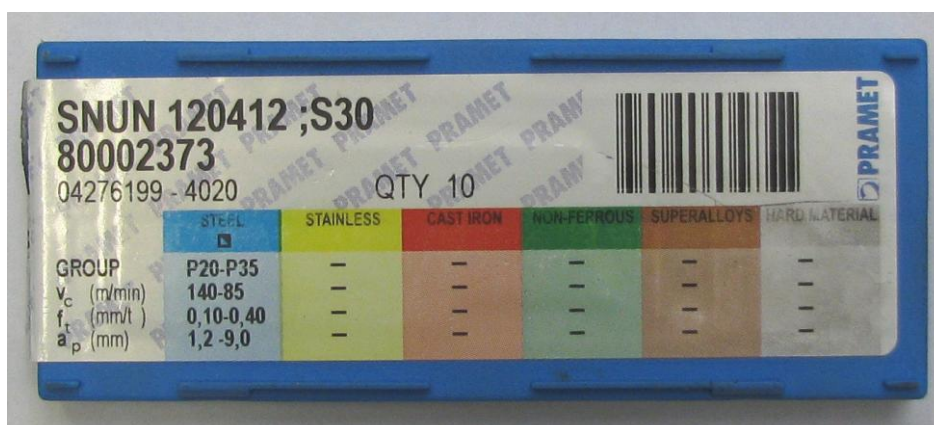
Nástrojem při frézování byla čelní negativní rovinná fréza o průměru 60 mm s 5 lůžky pro VBD (obr. 27).



Obr. 27 Rovinná fréza

6.3. VBD

Pro materiál 14 220 mi byla doporučena VBD od firmy Pramet Tools, s.r.o. označená SNUN 120412 ;S30 (obr. 28). Podrobnější informace o použití VBD - viz příloha 3.



Obr. 28 Balení VBD

6.4. Nástrojová lupa Brinell

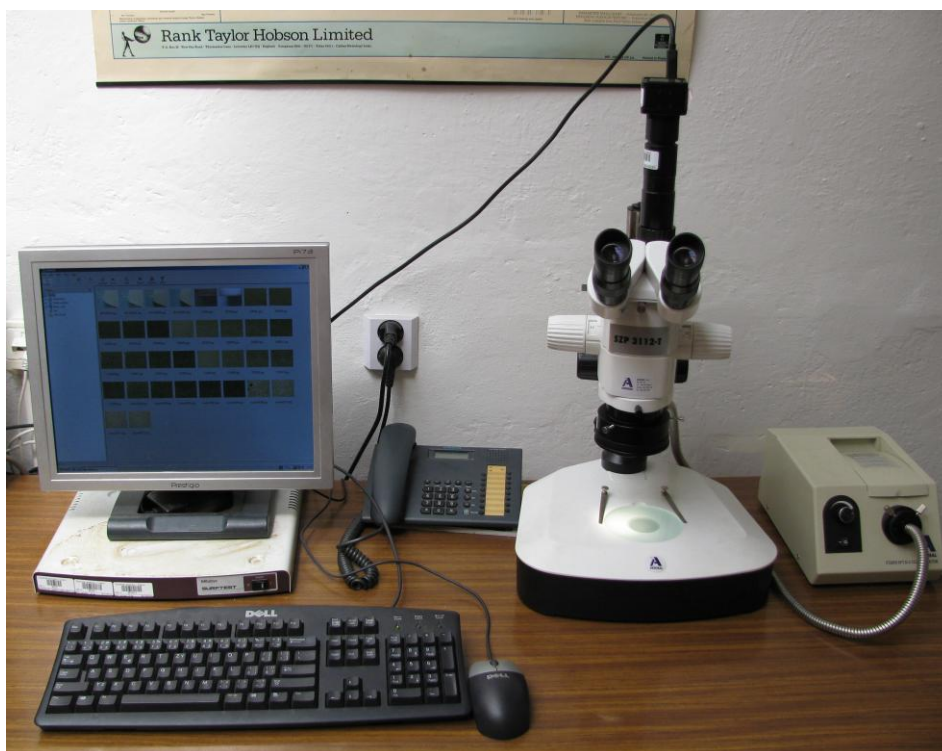
Opotřebení VBD bylo naměřeno nástrojovou lupou Brinell (obr. 29). Zvětšení této lupy je 24x a stupnice je rozdělena po 0,05 mm. Velkou výhodou této lupy je rychlost a přesnost měření bez nutnosti použití mikroskopu.



Obr. 29 Lupa Brinell

6.5. Mikroskop Arsenal SZP 3112–T

Pro vyfocení snímků velikosti opotřebení na hřbetu VBD byl použit mikroskop Arsenal SZP 3112–T s připojenou laboratorní kameru LABO 3MP (obr. 30). Tato kamera je spojena s osobním počítačem Dell, kde se fotografie zobrazí a uloží pomocí programu Minisee.



Obr. 30 Mikroskop Arsenal SZP 3112–T s kameru LABO 3MP

6.6. Laboratorní profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2

Pro změření drsnosti byl použit dotykový laboratorní profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2 a osobní počítač Dell (obr. 31) s nainstalovaným programem Surfpark. Program Surfpark je naprogramován na ovládání a zpracování dat z profiloměru Mitutoyo. Ovládá se pomocí grafického rozhraní ve Windows a výstupy mají jak textovou, tak i grafickou formu. Technické parametry přístroje – viz příloha 4.



Obr. 31 Mitutoyo Surftest SV-2000 N2 s PC Dell

6.7. Procesní kapaliny

Pro porovnání trvanlivosti VBD a drsnosti povrchu mi byly přiděleny tyto PK (obr. 32) od společnosti PARAMO, a.s. Další informace - viz příloha 7.

Doporučený refrakční index n_i emulzních olejů, při kterých bylo prováděno měření:

EOPS 1030	1,1
EOPS 2040	1,09
ERO SB	1
ERO SB-PLUS	1
LACTIC	1,05



Obr. 32 Procesní kapaliny PARAMO EOPS1030, EOPS 2040, ERO SB ERO SB-PLUS, LACTIC

6.8. Refraktometr

Pro měření koncentrace emulzního oleje ve vodě, jsem používal refraktometr Optech Brix, typ RLC/ATC, rozsah koncentrace 0-18%, přesnost 0,1% (obr. 33).



Obr. 33 Refraktometr Optech Brix

6.9. Chladicí soustava

K dopravě PK bylo použito čerpadlo a nádrž, které se nachází standardně v laboratoři KOM (obr. 34). Z chladicího okruhu frézky FNG 32 byla použita část od čerpadla k trysce a svod PK z pracovní plochy stolu. Čerpadlo a zbytek okruhu nebyl využit z důvodů velké kapacity na PK a složitosti jejího vyměňování.



Obr. 34 Čerpadlo a nádrž na PK

7. Metodiky experimentů

Všechna měření byla realizována na pracovištích laboratoře KOM zcela v souladu s požadavkem na bezpečnost práce.

Pro vyhodnocení opakování měření byly použity statistické výpočty. Jednalo se o výpočet statistického intervalu spolehlivosti (konfidenční interval), který udává, že další výsledky měřeného experimentu budou s předpokládanou pravděpodobností umístěny v tomto intervalu.[26]

- střední hodnota

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^p x_i}{p} \quad (9)$$

- normalizovaná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{p-1}} \quad (10)$$

- statistický interval spolehlivosti

$$x_{\max} = \bar{x} + q \cdot \frac{s}{\sqrt{p-1}} \quad (11)$$

$$x_{\min} = \bar{x} - q \cdot \frac{s}{\sqrt{p-1}} \quad (12)$$

7.1. Metodika zkoumání trvanlivosti nástroje

7.1.1. Příprava před frézováním

Materiál 14 220 pro obrábění byl dodán ve čtvercových tyčích 80 mm o délce 1000 mm a byl uříznut na pásové pile v laboratořích KOM na délku 500 mm. Musel být přepůlen, protože podélný pracovní zdvih (X) frézky je maximálně 600 mm, viz kapitola 6.1. Následovalo upnutí do svěráku (obr. 35) na pracovním stole frézky.

Příprava stroje spočívala v jeho zapnutí a přivedení tlakového vzduchu do pneumaticko-hydraulického upínání nástroje. Ve frézce již byla připravena fréza, viz kapitola 6.2. do které se upnula VBD SNUN 120412 ;S30, viz kapitola 6.3.

Pokud bylo nutné pro měření, připravil jsem PK. Tato PK se namíchala postupným přidáváním emulzního oleje do vody v kanystru a promícháním na potřebnou koncentraci, viz kapitola 6.7.,

Tato koncentrace se vypočítala za pomoci refrakčního indexu:

$$k = \frac{4}{ri} \quad [\%] \quad (13)$$

Správná koncentrace byla změřena pomocí refraktometru, viz kapitola 6.8., a následovně přelita do chladicího okruhu u stroje, viz kapitola 6.9.

7.1.2. Řezné podmínky

U řezných podmínek jsem zohlednil doporučené řezné rychlosti pro VBD, obráběný materiál a parametry frézky.

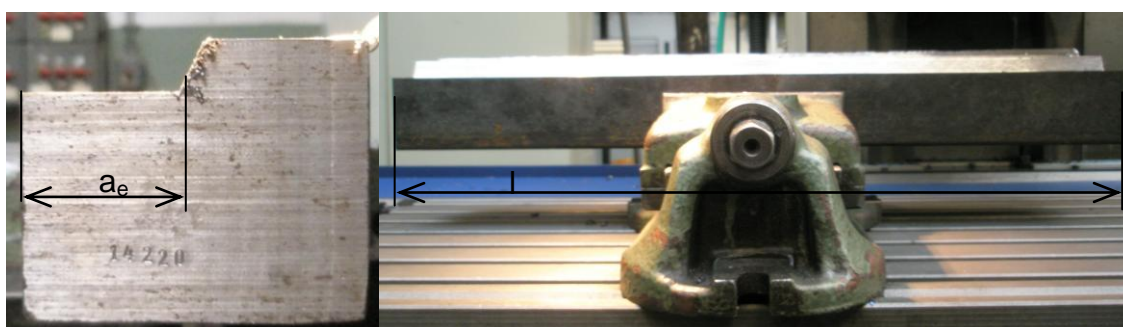
Všechny experimenty byly provedeny při stejných řezných podmínkách.

Zvolené řezné podmínky:

n	440	[ot/min]
f	44	[mm/min]
f_z	0,1	[mm]
v_c	85	[m/min]
a_p	1	[mm]

Rozměry obrobené plochy (obr. 35):

a_e	37-43	[mm]
l	440-550	[mm]



Obr. 35 Obrobek ve svěráku se zakótovanou délkou a šířkou záběru

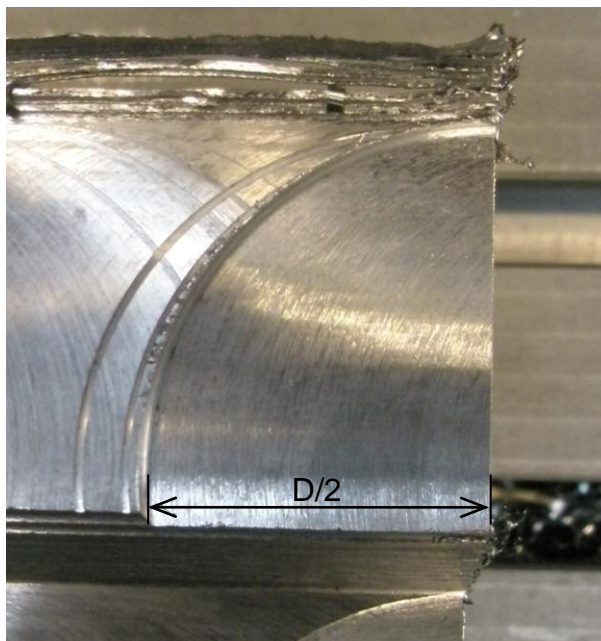
7.1.3. Postup při obrábění

Po upnutí měřené VBD, najetí před obrobek na požadovanou hloubku a šířku třísky, navolením parametrů na stroji a puštěním příslušné PK se začalo frézovat.

Při sousledné frézování před samotným měřeným obráběním, byla upnuta do frézy místo měřené VBD pracovní VBD, pomocí které bylo nutno odfrézovat z celkové délky obrobku počáteční část o velikosti poloviny průměru frézy $D/2$ (obr. 36) čímž došlo ke zkrácení měřené délky obrábění l. V této počáteční části dochází při výstupu břitu z frézy k nenulové třísce, což je netypický jev při sousledném frézování a mohlo by ovlivnit výsledek experimentu. Poté se vyjelo z řezu, zastavilo se vřeteno a vyměnila se pracovní VBD za měřenou VBD a pak s opětovným najetím do místa řezu se začalo opět obrábět.

Následovalo měřené obrábění na délce l. Při přejetí celé délky l trvalo obrábění až 12,5 minuty. Po frézování se vyjmula měřená VBD a změřilo se hned u stroje opotřebení na hřbetu pomocí nástrojové lupy Brinell viz kapitola 6.8. Tento

postup se opakoval až do kritéria, které bylo u všech břitů dosažením opotřebení na hřbetu nástroje o velikosti $VB_{\max} = 0,7 \text{ mm}$.



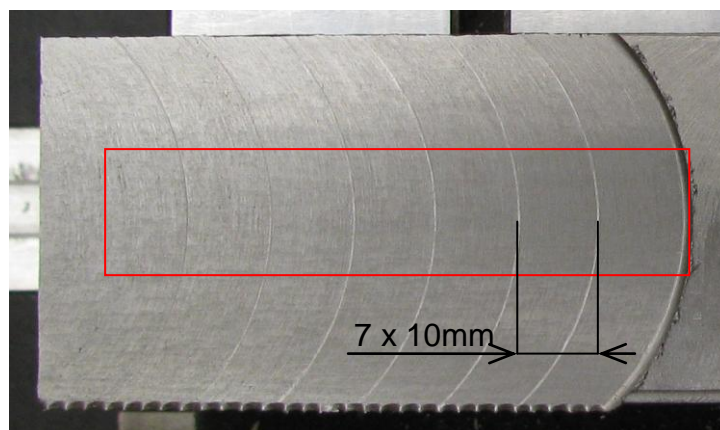
Obr. 36 Počáteční obrobená část

Celkový počet experimentů byl stanoven na 14 díky počtu PK: voda, EOPS 1030, EOPS 2040, ERO SB, ERO SB-PLUS, LACTIC a vzduch (bez PK) a dále díky druhu frézování: sousledné a nesousledné.

7.2. Metodika zkoumání drsnosti povrchu

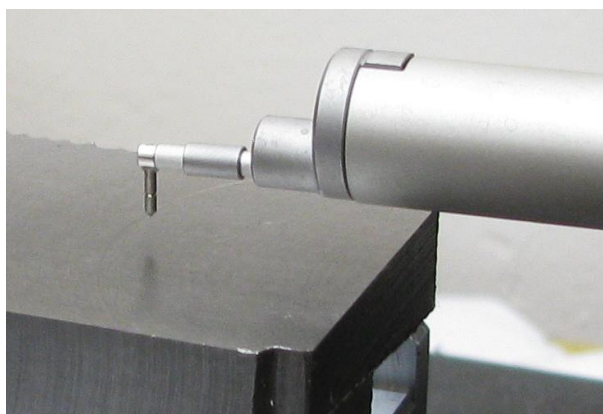
Z důvodu složitosti výměny PK v chladicím okruhu jsem před samotným obráběním na drsnost připravil PET lahve s PK. Pro obrábění drsnosti povrchu jsem si připravil kvádr 40x40-200 mm z oceli 14 220, který jsem upnul do svěráku. Po nastavení stejných řezných podmínek jako u experimentu trvanlivosti, viz kapitola 7.1.2, s jednou malou změnou, a to že počáteční $a_p = 1,1 \text{ mm}$, se mohlo začít frézovat.

S novým břitem jsem nejprve obrobil bez PK délku $D/2$. Po krátké pauze, která byla zapříčiněna přípravou PET lahve s PK a očištěním povrchu, jsem začal frézovat s první PK a to vodu, s kterou jsem obrobil dalších 10 mm. Tak to následovaly zbylé PK. Hloubka řezu a_p byla větší z důvodů skoku o 0,1 mm po třech obrobených PK.



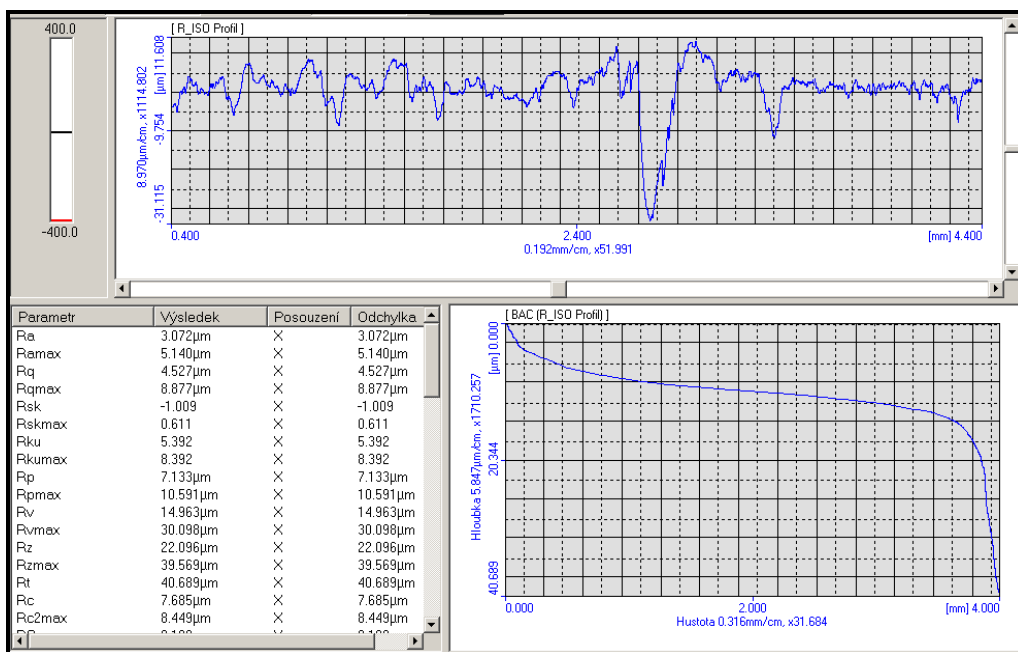
Obr. 37 Obrobený povrch s označenou plochou měření

Obrobený kvádr (obr. 37) se donesl do laboratoře měření drsnosti. Měření není rozděleno na sousledné a nesousledné frézování, protože se provádělo uprostřed povrchu v červeně ohraničeném obdélníku, viz obr. 37. Měření proběhlo na laboratorním profiloměru Mitutoyo Surftest SV-2000 N2, viz. kapitola 6.6 a základní nastavení měření bylo $l_n = 4 \text{ mm}$, $l_t = 4,8 \text{ mm}$, rozsah měření $800 \text{ } \mu\text{m}$ a rychlost měření $0,5 \text{ mm/s}$.



Obr. 38 Detail dotykového diamantového hrotu

Celkový počet měření byl stanoven na 70, u každé PK se drsnost měřila 10x. Z naměřených veličin na obrazovce obr. 39 počítače jsem opsal hodnotu drsnosti R_a .



Obr. 39 Textový a grafický výstup z drsnoměru

8. Naměřené hodnoty

Všechny naměřené a odečtené hodnoty z laboratoře KOM byly graficky zpracovány pomocí programu Microsoft Office Excel 2007.

Naměřené hodnoty z experimentálních měření byly odečtené z nástrojové lupy Brinell a následovně zapsány do tabulek a vyhodnoceny.

Uvedené tabulky a k nim náležité grafy jsou řazeny podle druhu frézování a použité PK.

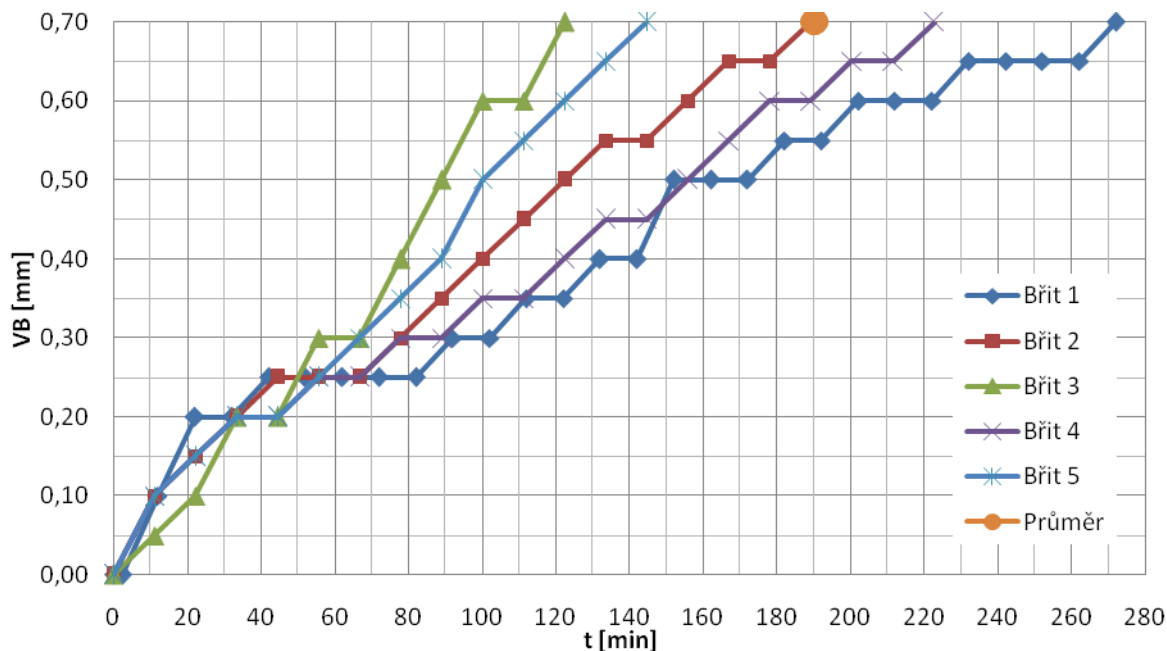
8.1. Naměřené hodnoty při měření trvanlivosti nástroje

Zde jsou uvedeny pouze maximální hodnoty obrobené délky L a trvanlivosti T, kdy dosáhlo opotřebení břitu $VB_{max} = 0,7$ mm a průměrné hodnoty s vypočítaným konfidenčním intervalem. Všechny naměřené hodnoty - viz příloha 5.

8.1.1. Frézování bez PK

Tab. 1 Naměřené hodnoty u sousledného frézování bez PK

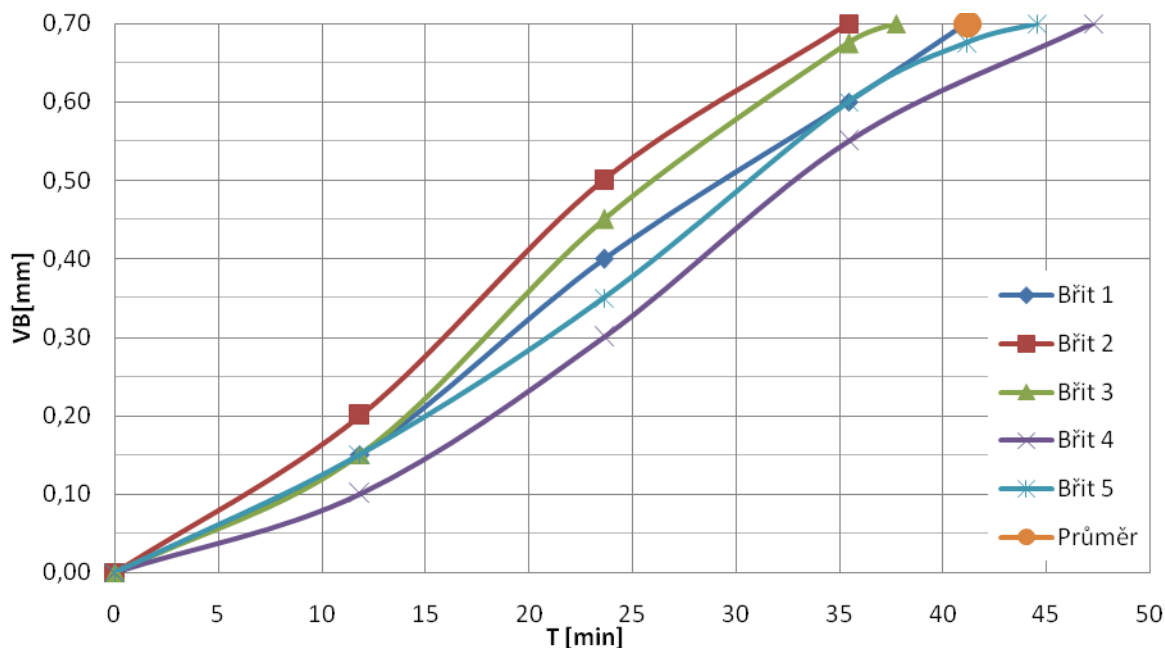
Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	11970	8330	5390	9800	6370	8372 ± 3665
T [min]	272	189	123	223	145	190 ± 83



Obr. 40 Časový průběh VB při sousledném frézování bez PK

Tab. 2 Naměřené hodnoty u nesousledného frézování bez PK

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	1810	1560	1660	2080	1960	1814 ± 295
T [min]	41	35	38	47	45	41 ± 7

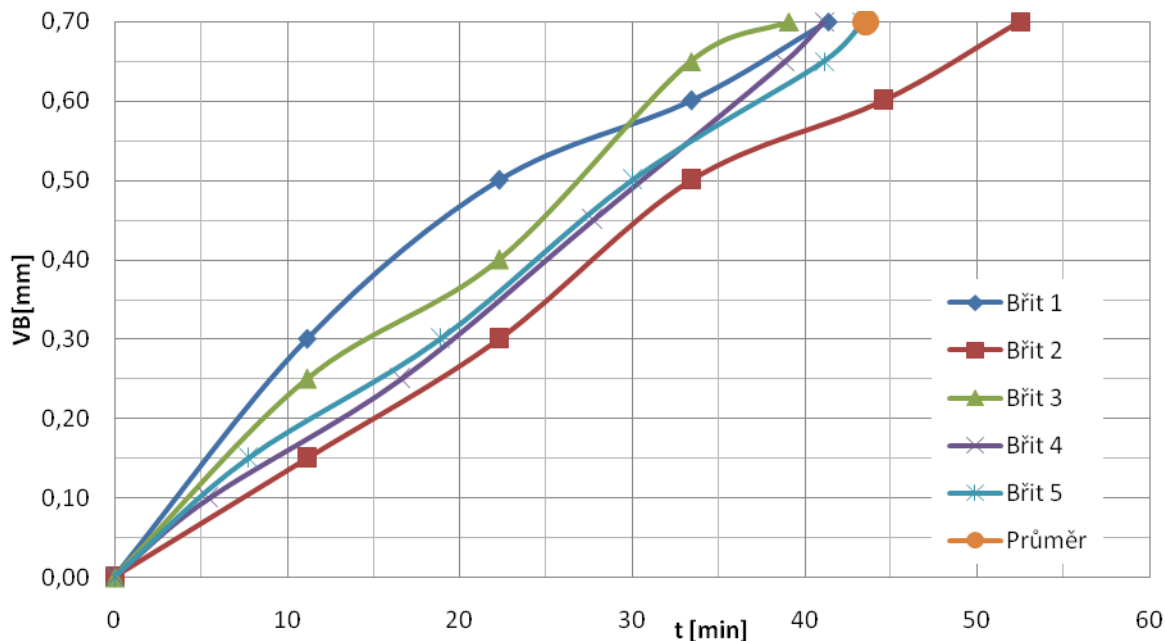


Obr. 41 Časový průběh VB při nesousledném frézování bez PK

8.1.2. Frézování s vodou

Tab. 3 Naměřené hodnoty u sousledného frézování s vodou

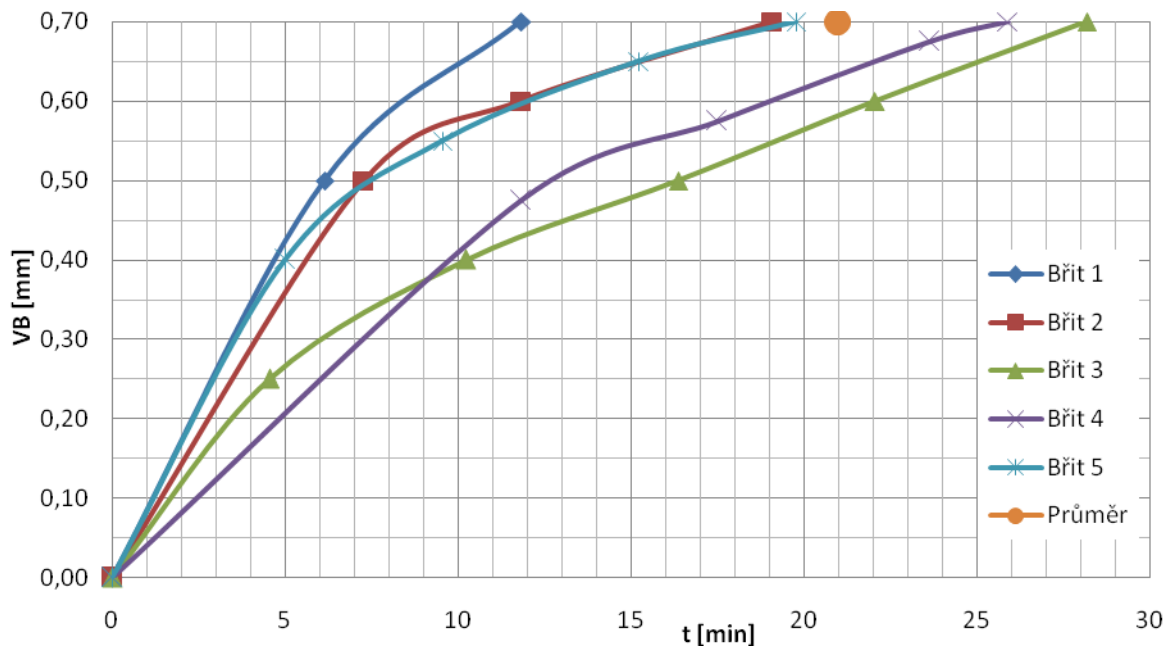
Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	1820	2310	1720	1810	1910	1914 ± 321
T [min]	41	53	39	41	43	44 ± 7



Obr. 42 Časový průběh VB při sousledném frézování s vodou

Tab. 4 Naměřené hodnoty u nesousledného frézování s vodou

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	520	840	1240	1140	870	922 ± 392
T [min]	12	19	28	26	20	21 ± 9

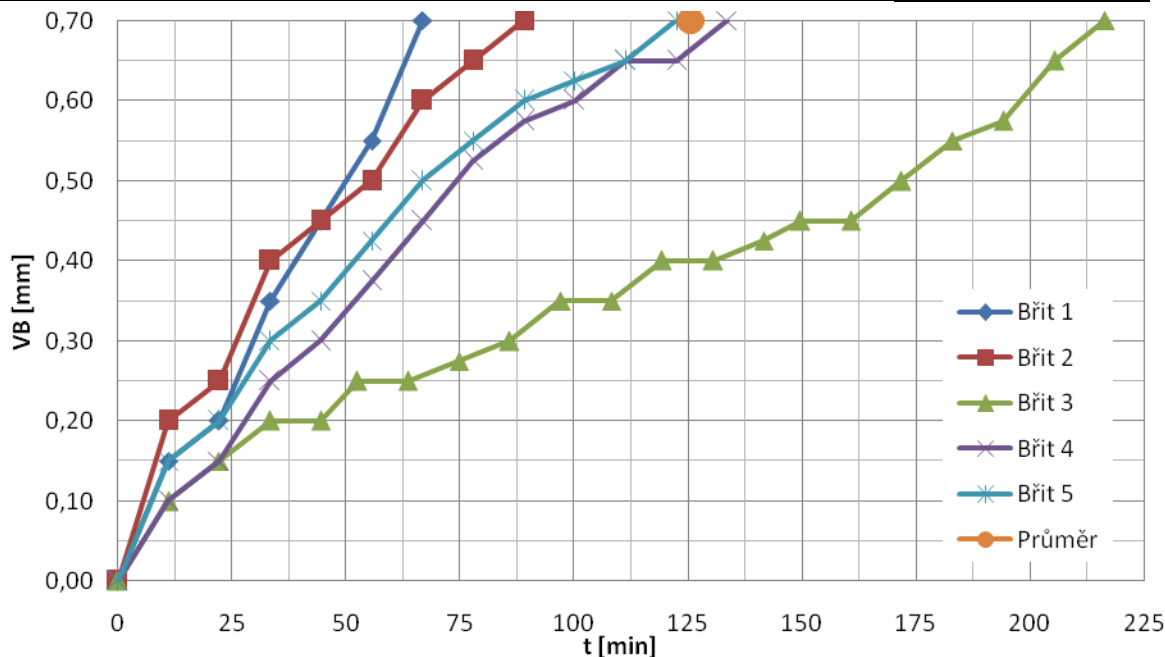


Obr. 43 Časový průběh VB při nesousledném frézování s vodou

8.1.3. Frézování s kapalinou EOPS 1030

Tab. 5 Naměřené hodnoty u sousledného frézování s EOPS 1030

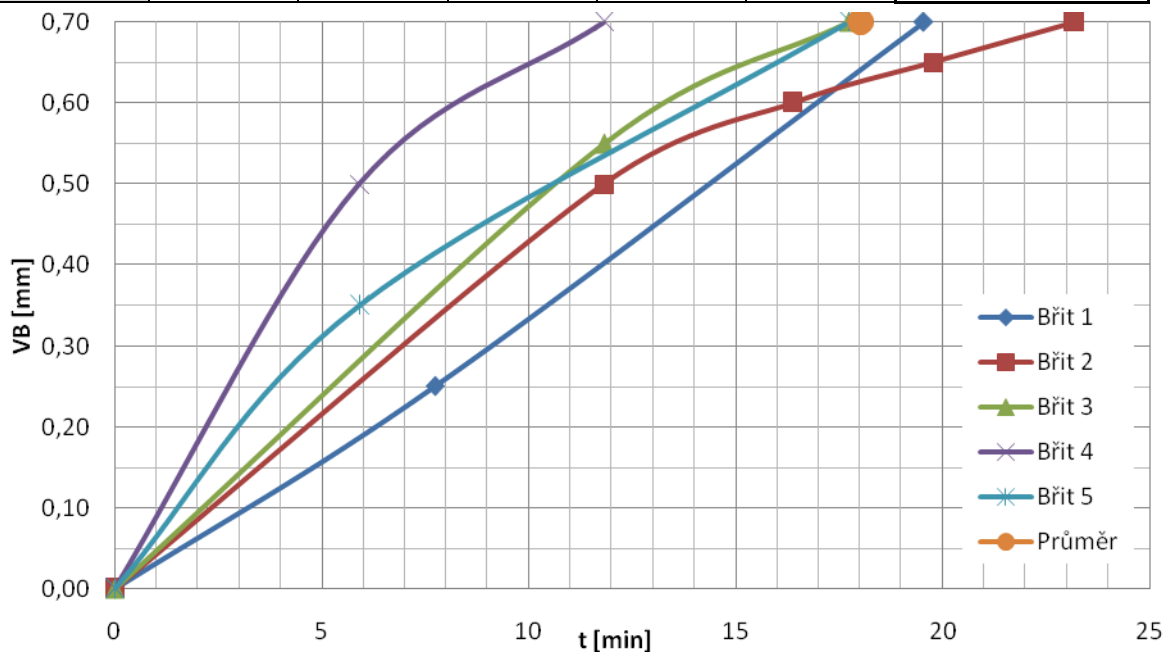
Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	2940	3920	9520	5880	5390	5530 ± 3596
T [min]	67	89	216	134	123	126 ± 79



Obr. 44 Časový průběh VB při sousledném frézování s EOPS 1030

Tab. 6 Naměřené hodnoty u nesousledného frézování s EOPS 1030

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	860	1020	780	520	780	792 ± 251
T [min]	20	23	18	12	18	18 ± 6

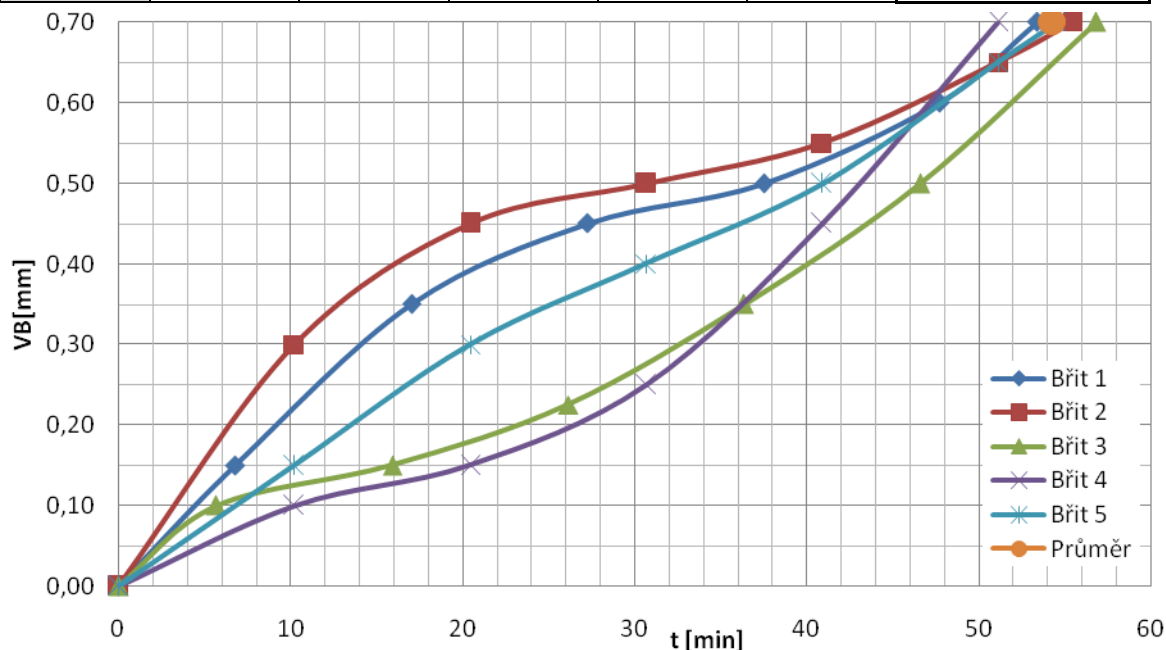


Obr. 45 Časový průběh VB při nesousledném frézování s EOPS 1030

8.1.4. Frézování s kapalinou EOPS 2040

Tab. 7 Naměřené hodnoty u sousledného frézování s EOPS 2040

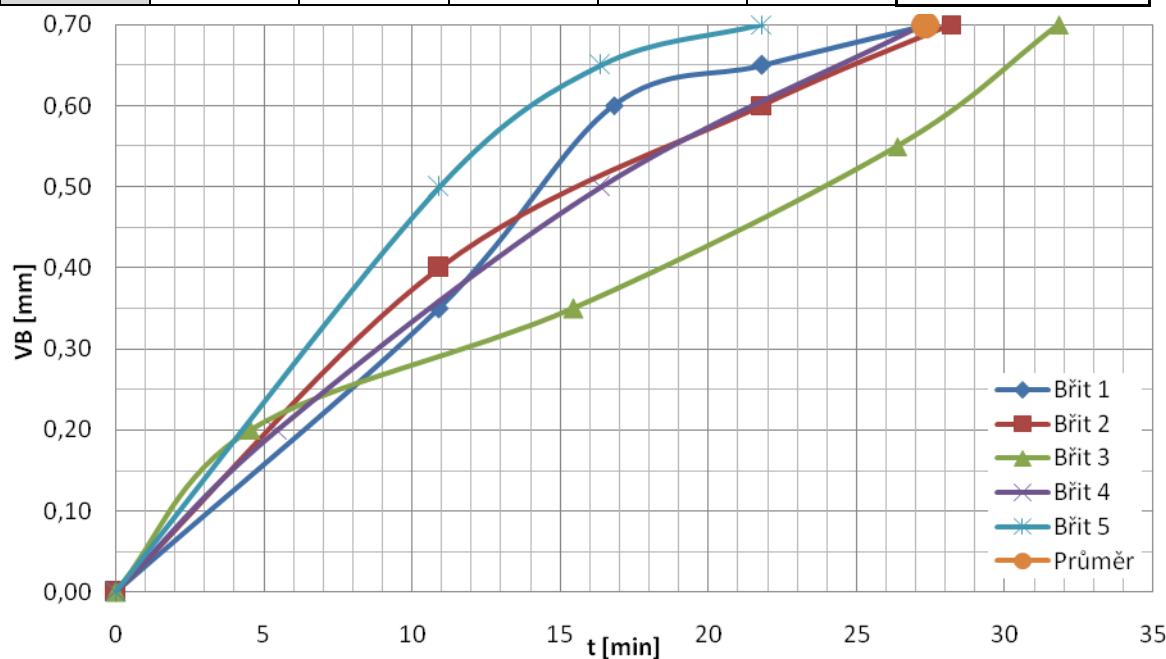
Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	2350	2440	2500	2250	2400	2388 ± 131
T [min]	53	55	57	51	55	54 ± 3



Obr. 46 Časový průběh VB při sousledném frézování s EOPS 2040

Tab. 8 Naměřené hodnoty u nesousledného frézování s EOSP 2040

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	1210	1240	1400	1200	960	1202 ± 219
T [min]	28	28	32	27	22	27 ± 5

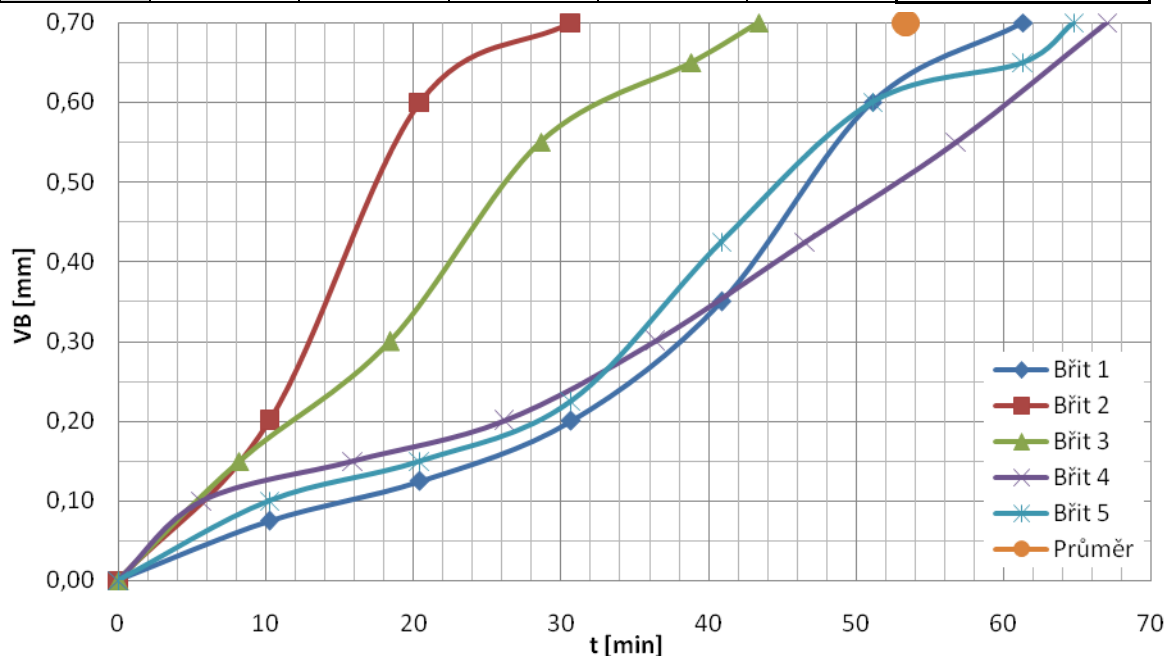


Obr. 47 Časový průběh VB při nesousledném frézování s EOPS 2040

8.1.5. Frézování s kapalinou ERO SB

Tab. 9 Naměřené hodnoty u sousledného frézování s ERO SB

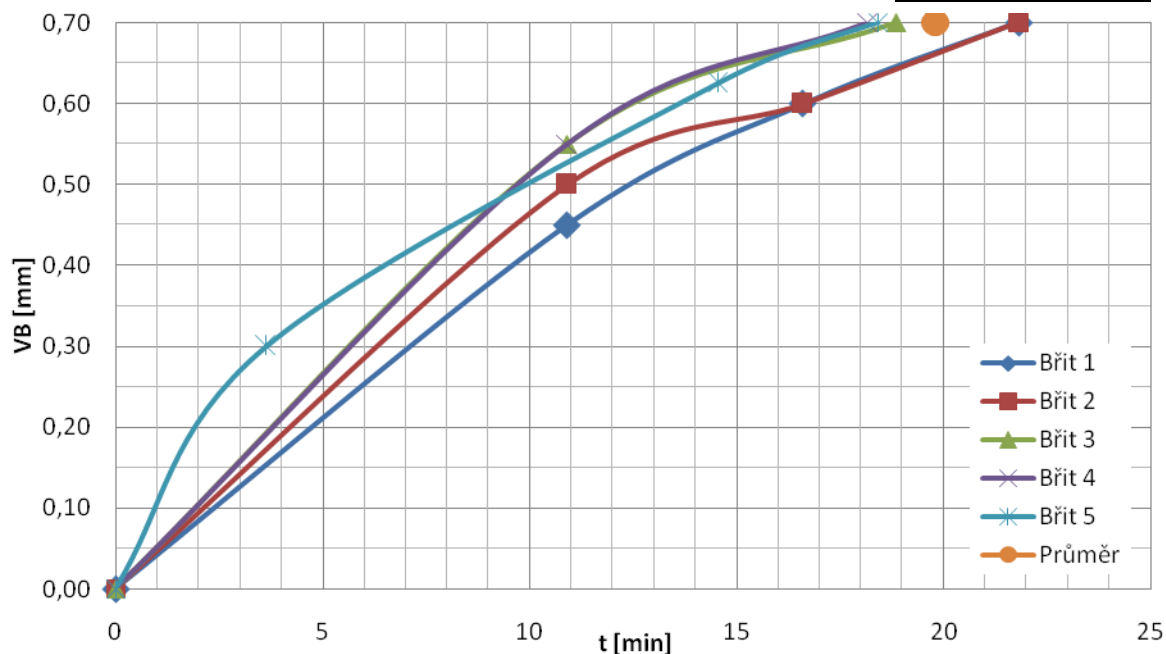
Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	2700	1350	1910	2950	2850	2352 ± 963
T [min]	61	31	43	67	65	53 ± 22



Obr. 48 Časový průběh VB při sousledném frézování s ERO SB

Tab. 10 Naměřené hodnoty u nesousledného frézování s ERO SB

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	960	960	830	800	810	872 ± 113
T [min]	22	22	19	18	18	20 ± 3

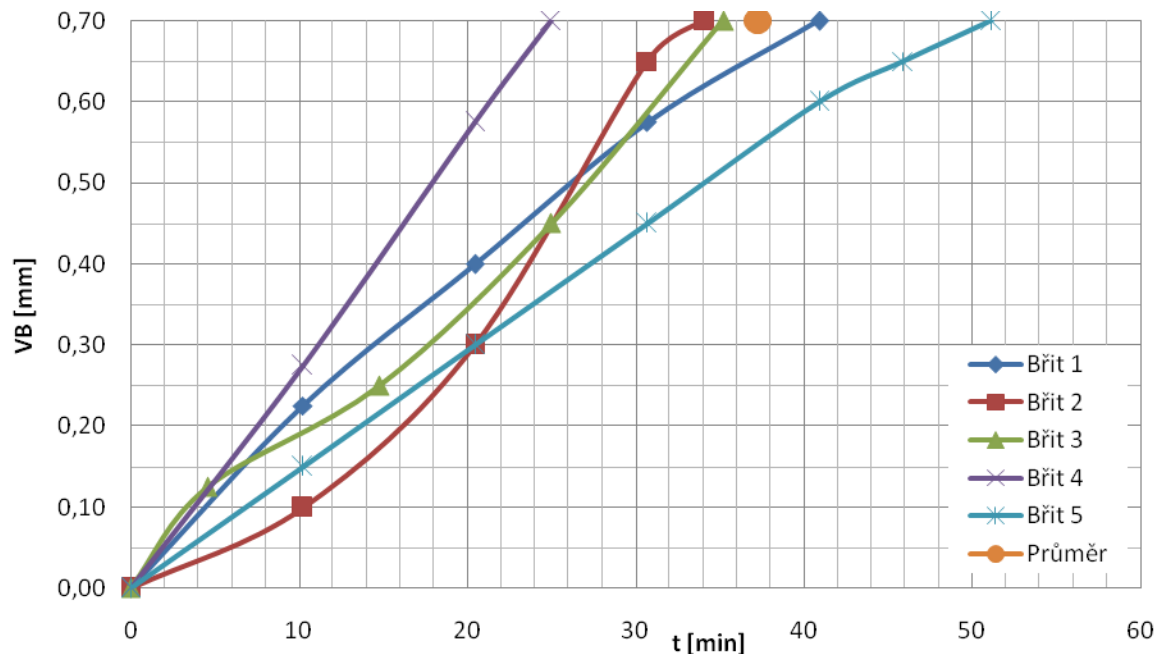


Obr. 49 Časový průběh VB při nesousledném frézování s ERO SB

8.1.6. Frézování s kapalinou ERO SB-PLUS

Tab. 11 Naměřené hodnoty u sousledného frézování s ERO SB-PLUS

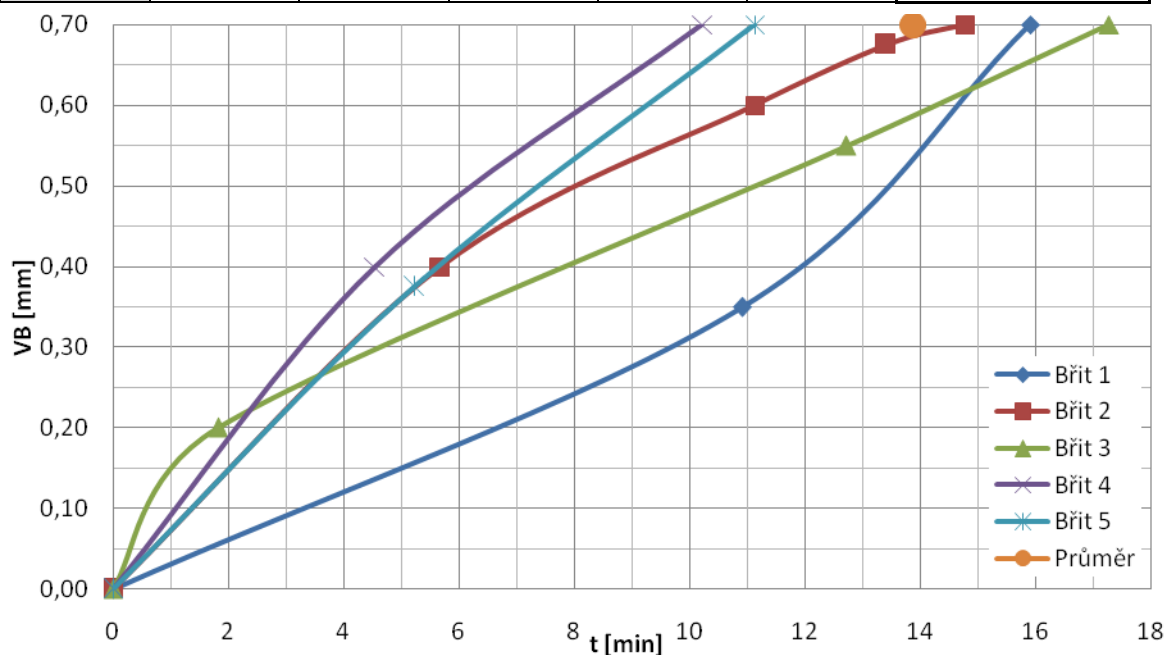
Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	1800	1500	1550	1100	2250	1640 ± 588
T [min]	41	34	35	25	51	37 ± 13



Obr. 50 Časový průběh VB při sousledném frézování s ERO SB-PLUS

Tab. 12 Naměřené hodnoty u nesousledného frézování s ERO SB-PLUS

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	700	650	760	450	490	610 ± 187
T [min]	16	15	17	10	11	14 ± 4

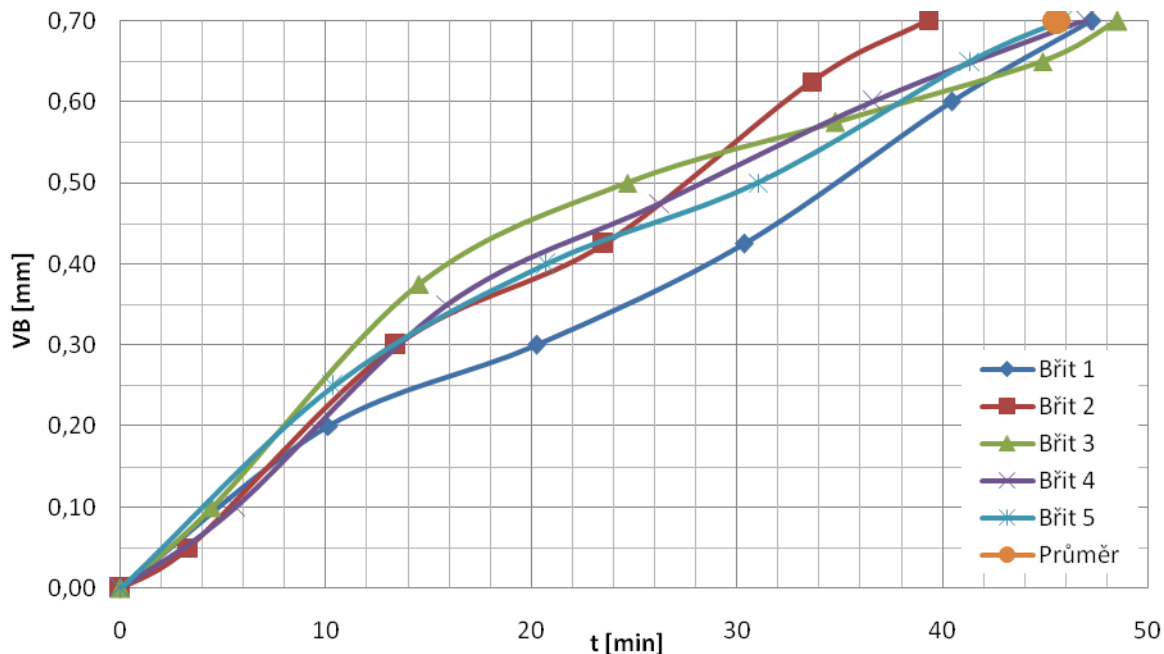


Obr. 51 Časový průběh VB při nesousledném frézování s ERO SB-PLUS

8.1.7. Frézování s kapalinou LACTIC

Tab. 13 Naměřené hodnoty u sousledného frézování s LACTIC

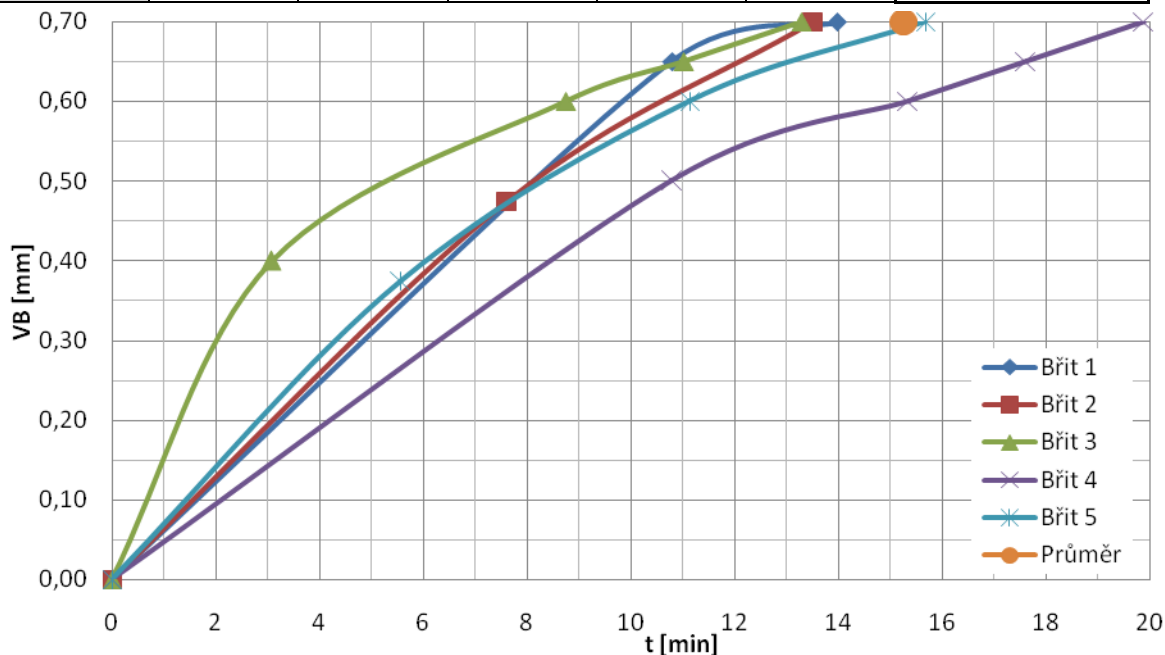
Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	2080	1730	2135	2065	2020	2006 ± 222
T [min]	47	39	49	47	46	46 ± 5



Obr. 52 Časový průběh VB při sousledném frézování s LACTIC

Tab. 14 Naměřené hodnoty u nesousledného frézování s LACTIC

Břit	1	2	3	4	5	Průměr
L [mm]	615	595	585	875	690	672 ± 168
T [min]	14	14	13	20	16	15 ± 4



Obr. 53 Časový průběh VB při nesousledném frézování s LACTIC

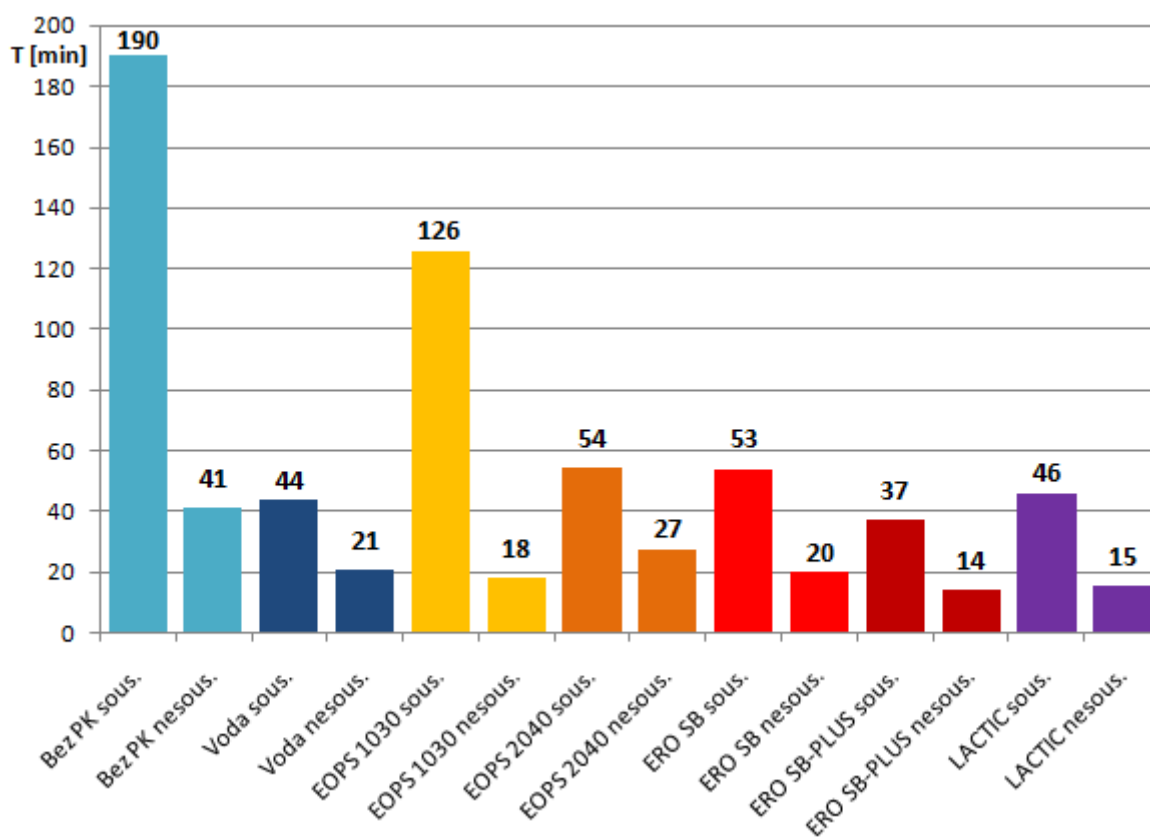
8.1.8. Naměřené trvanlivosti břitů

Tab. 15 Průměrné trvanlivosti břitů

Procesní prostředí:	Bez PK	Voda	EOPS 1030	EOPS 2040	ERO SB	ERO SB-PLUS	LACTIC
Souledně:	100%	23%	66%	29%	28%	20%	24%
T [min]	190±83	44±7	126±79	54±3	53±22	37±13	46±5
Nesousledně:	22%	11%	9%	14%	10%	7%	8%
T [min]	41±7	21±9	18±6	27±5	20±3	14±4	15±4

8.2. Hodnocení kapalin a opotřebení břitu

Z grafu na obr. 54 lze vyčíst jednotlivé rozdíly trvanlivosti při daném procesním prostředí.



Obr. 54 Naměřené průměrné hodnoty trvanlivosti, řazeno dle PK

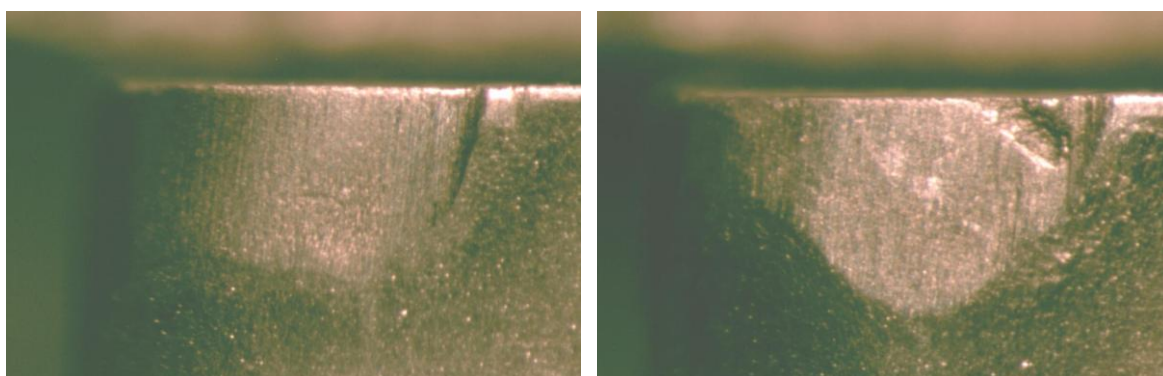
Bez PK (na sucho, na vzduchu) - Toto procesní prostředí je na grafech označeno světle modrou barvou, viz obr. 54.

Průměrná trvanlivost při sousledném frézování byla 190 minut, břit 1 měl největší trvanlivost 272 minut a břit 3 naopak nejmenší 123 minut, viz tab. 1 a obr. 40. Břity neměly úplně schodnou trvanlivost. Vzhledem k opotřebení břitů na obr. 55 mi to přijde i logické. Na těchto detailech břitu je vidět abrazivní opotřebení

(břit 1 a břit 3) a u břitu 3 je vidět i vrubové opotřebení, o kterém se domnívám, že způsobilo menší trvanlivost. Toto vrubové opotřebení je na místě, kde může docházet k největší oxidaci.

Průměrná trvanlivost při nesousledném frézování byla 41 minut, břit 1 měl největší trvanlivost 47 minut a břit 2 naopak nejmenší 35 minut, viz tab. 2 a obr. 41. Zde měly břity podobnou trvanlivost i vzhled opotřebení. Na detailu opotřeбенého břitu obr. 56 je vidět, že pravděpodobně došlo k lomu ostří.

U sousledného frézování bylo dosaženo 4,6x větší trvanlivosti než u nesousledného frézování.



Obr. 55 Opotřebení břitu bez PK při sousledném frézování břit 1, břit 3



Obr. 56 Opotřebení břitu bez PK při nesousledném frézování

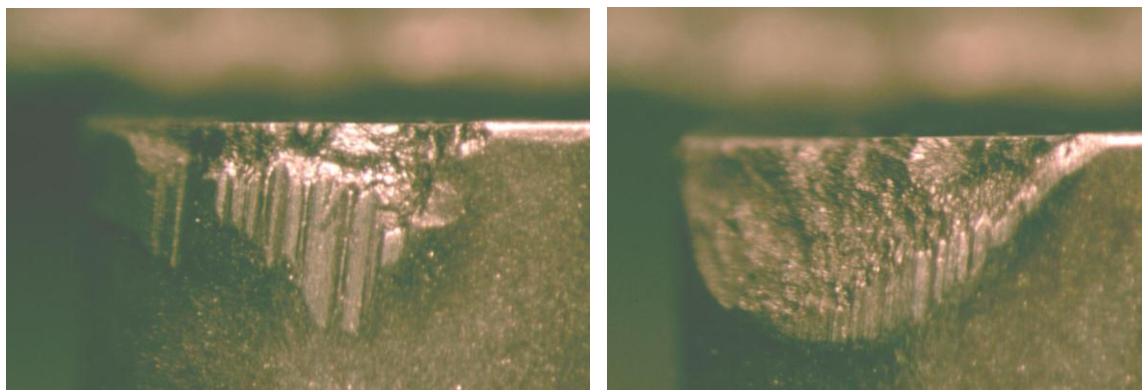
Voda - Toto procesní prostředí je na grafech označeno tmavě modrou barvou, viz obr. 54.

Průměrná trvanlivost při sousledném frézování byla 44 minut, břit 2 měl největší trvanlivost 53 minut a břit 3 naopak nejmenší 39 minut, viz tab. 3 a obr. 42. Břity měly podobnou trvanlivost i vzhled opotřebení. Na detailu opotřeбенého břitu obr. 57 je vidět, že pravděpodobně došlo k vydrolení ostří.

Průměrná trvanlivost při nesousledném frézování byla 21 minut, břit 3 měl

největší trvanlivost 28 minut a břit 1 naopak nejmenší 12 minut, viz tab. 4 a obr. 43. Typicky opotřeбенý břit viz obr. 57.

U sousledného frézování bylo dosaženo 2,1x větší trvanlivosti než u nesousledného frézování.

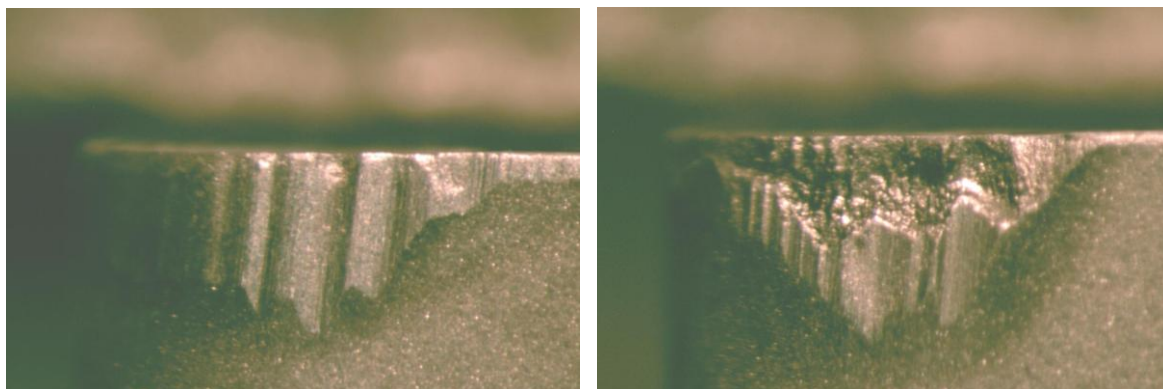


Obr. 57 Opotřeбенí břitu s vodou při sousledném a nesousledném frézování

EOPS 1030 - Toto procesní prostředí je na grafech označeno žlutou barvou viz obr. 54.

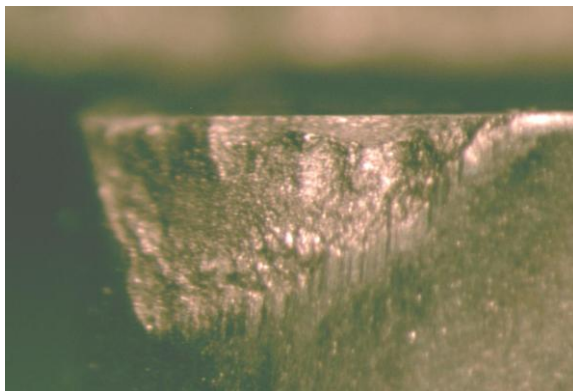
Průměrná trvanlivost při sousledném frézování byla 126 minut, břit 3 měl největší trvanlivost 216 minut a břit 1 naopak nejmenší 67 minut viz tab. 5 a obr. 44. Břity měly větší rozsah trvanlivosti. To mi přijde i logické vzhledem k opotřeбенí břitů na obr. 58. Na detailech břitu je vidět že u jednoho z břitů 3 došlo pravděpodobně jen k abrazi, na druhém břitu 1 došlo pravděpodobně i k vydrolení nebo lomu břitu.

Průměrná trvanlivost při nesousledném frézování byla 18 minut, břit 2 měl největší trvanlivost 23 minut a břit 4 naopak nejmenší 12 minut viz tab. 6 a obr. 45. Typicky opotřeбенý břit viz obr. 59.



Obr. 58 Opotřeбенí břitu s EOPS 1030 při sousledném frézování břit 3 a břit 1

U sousledného frézování bylo dosaženo 7x větší trvanlivosti než u nesousledného frézování, o čemž se domnívám, že se projevilo i na opotřebení břitů, které je rozdílné.



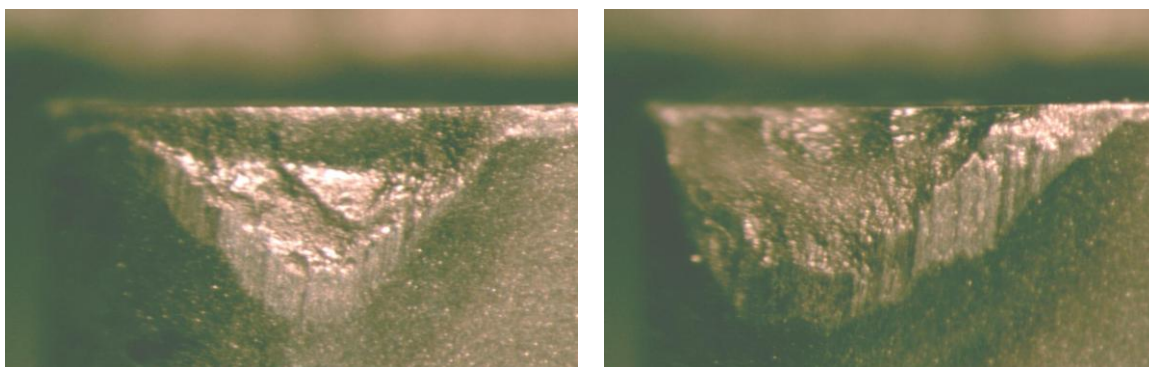
Obr. 59 Opotřebení břitu s EOPS 1030 při nesousledném frézování

EOPS 2040 - Toto procesní prostředí je na grafech označeno oranžovou barvou, viz obr. 54.

Průměrná trvanlivost při sousledném frézování byla 54 minut, břit 3 měl největší trvanlivost 57 minut a břit 4 naopak nejmenší 51 minut viz tab. 7 a obr. 46. Břity měly podobnou trvanlivost i vzhled opotřebení. Typicky opotřeбенý břit viz obr. 60.

Průměrná trvanlivost při nesousledném frézování byla 27 minut, břit 3 měl největší trvanlivost 32 minut a břit 5 naopak nejmenší 22 minut viz tab. 8 a obr. 47. Typicky opotřeбенý břit viz obr. 60.

Kapalina EOPS 2040 dosáhla nejmenšího dvojnásobného zvětšení trvanlivosti u sousledného frézování proti nesouslednému frézování. Což se domnívám, že se projevilo i na opotřebení břitů, které se mi zdá podobné.



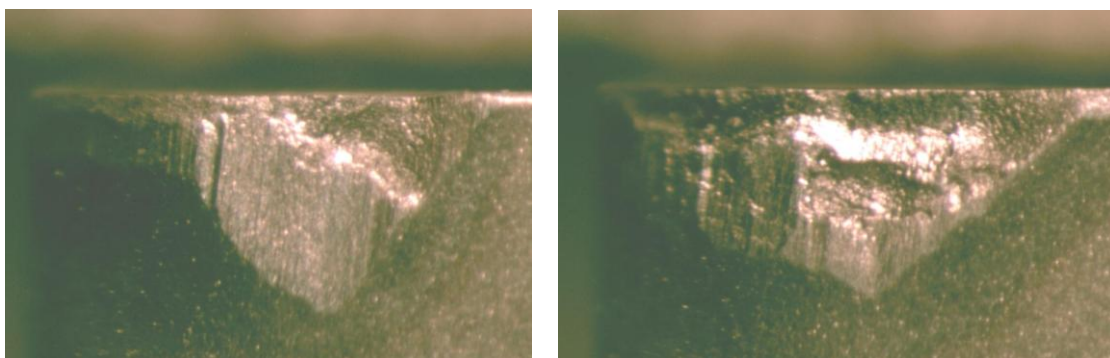
Obr. 60 Opotřebení břitu s EOPS 2040 při sousledném a nesousledném frézování

ERO SB - Toto procesní prostředí je na grafech označeno rudou barvou, viz obr. 54.

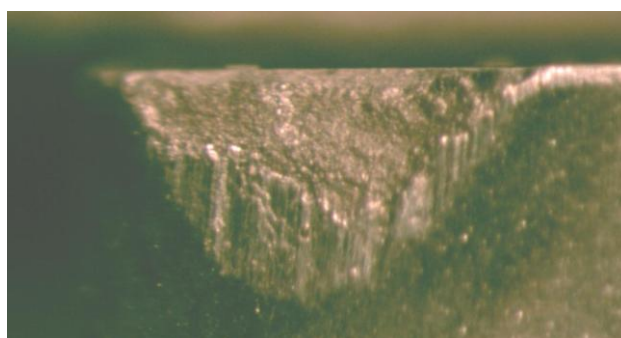
Průměrná trvanlivost při sousledném frézování byla 53 minut, břit 4 měl největší trvanlivost 67 minut a břit 2 naopak nejmenší 31 minut viz tab. 9 a obr. 48. Břity měli větší rozsah trvanlivosti. To mi přijde i logické vzhledem k opotřebení břitů na obr. 61. Na detailech břitu je vidět že u jednoho z břitů 4 došlo pravděpodobně jen k abrazi a vrubu, na druhém břitu 2 došlo pravděpodobně i k vydrolení nebo lomu břitu.

Průměrná trvanlivost při nesousledném frézování byla 20 minut, břit 4 a 5 měl největší trvanlivost 22 minut a břit 1 a 2 naopak nejmenší 18 minut, viz tab. 10 a obr. 49. Typicky opotřeбенý břit viz obr. 62.

U sousledného frézování bylo dosaženo 2,7x větší trvanlivosti než u nesousledného frézování.



Obr. 61 Opotřebení břitu s ERO SB při sousledném frézování břit 4 a břit 2



Obr. 62 Opotřebení břitu s ERO SB při nesousledném frézování

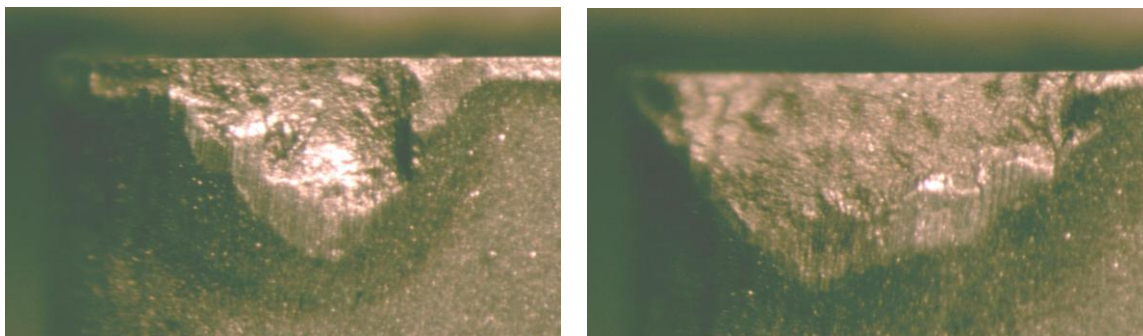
ERO SB-PLUS - Toto procesní prostředí je na grafech označeno tmavě červenou barvou, viz obr. 54.

Průměrná trvanlivost při sousledném frézování byla 37 minut, břit 5 měl největší trvanlivost 51 minut a břit 4 naopak nejmenší 25 minut, viz tab. 11 a

obr. 50. Břity měly podobnou trvanlivost i vzhled opotřebení. Typicky opotřeбенý břit viz obr. 63.

Průměrná trvanlivost při nesousledném frézování byla 14 minut, břit 3 měl největší trvanlivost 17 minut a břit 4 naopak nejmenší 10 minut, viz tab. 12 a obr. 51. Typicky opotřeбенý břit, viz obr. 63.

U sousledného frézování bylo dosaženo 2,7x větší trvanlivosti než u nesousledného frézování.

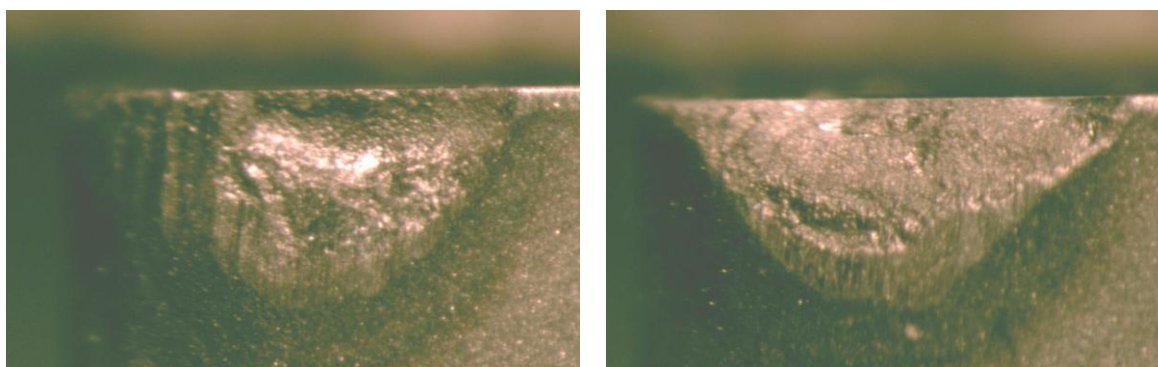


Obr. 63 Opotřeбенí břitu s ERO SB-PLUS při sousledném a nesousledném frézování

LACTIC - Toto procesní prostředí je na grafech označeno fialovou barvou viz obr. 54.

Průměrná trvanlivost při sousledném frézování byla 46 minut, břit 3 měl největší trvanlivost 49 minut a břit 2 naopak nejmenší 39 minut, viz tab. 13 a obr. 52. Břity měly podobnou trvanlivost i vzhled opotřebení. Typicky opotřeбенý břit viz obr. 64.

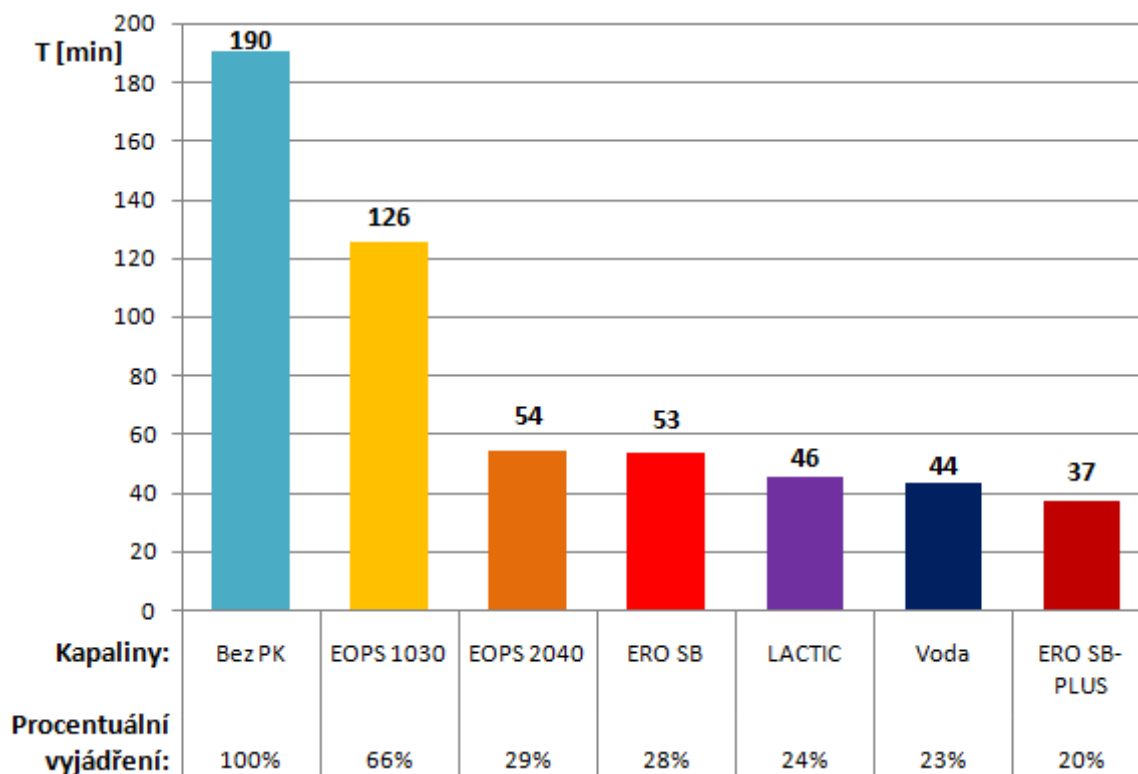
Průměrná trvanlivost při nesousledném frézování byla 15 minut, břit 4 měl největší trvanlivost 20 minut a břit 3 naopak nejmenší 13 minut, viz tab. 14 a obr. 53. Typicky opotřeбенý břit viz obr. 64.



Obr. 64 Opotřeбенí břitu s LACTIC při sousledném a nesousledném frézování

U sousledného frézování bylo dosaženo 3x větší trvanlivosti než u nesousledného frézování.

8.3. Hodnocení kapalin při sousledném frézování



Obr. 65 Trvanlivost břitů při sousledném frézování

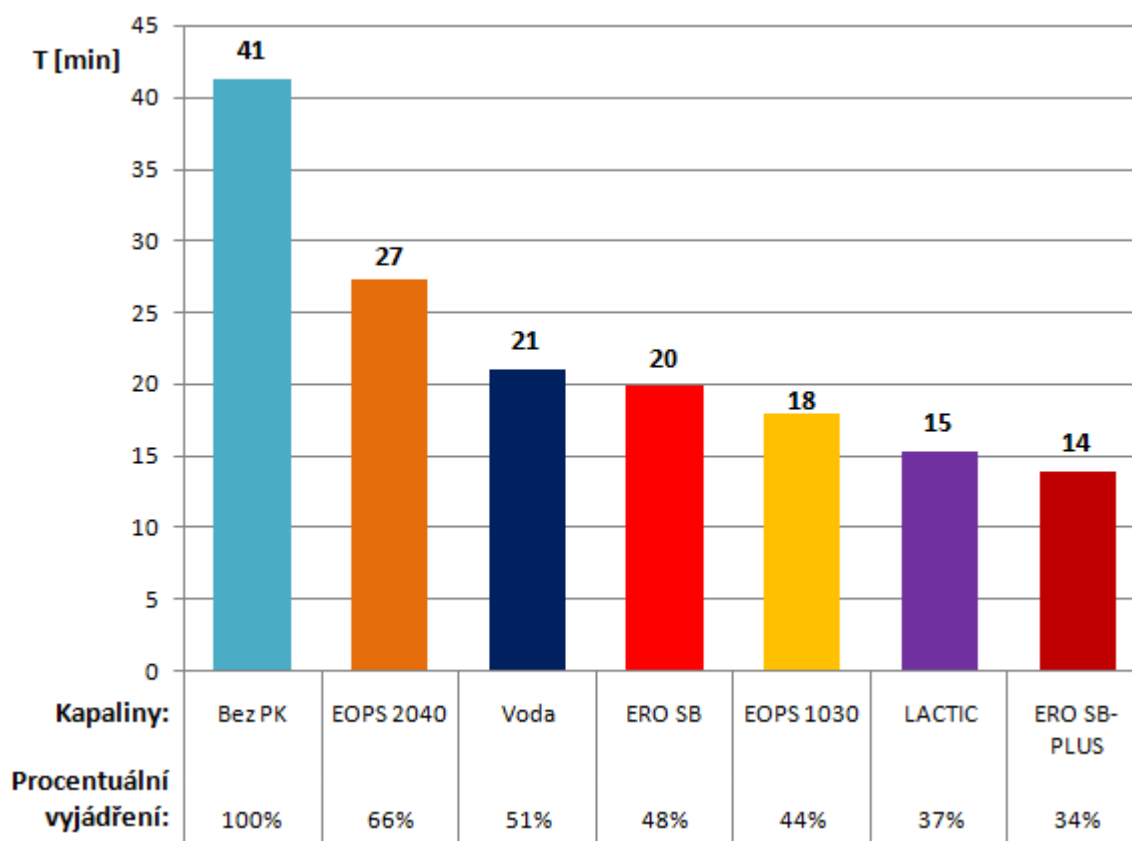
Z grafu na obr. 65 lze odečíst průměrné trvanlivosti břitů při sousledném frézování s různými PK. Graf je řazen dle trvanlivosti od největší po nejmenší a je doplněn o procentuální vyjádření, z kterého lze vyčíst procentuální úbytek trvanlivosti vůči obrábění bez PK.

Pokud se podívám na detaily opotřebení břitu, viz kapitola 8.2., tak se pravděpodobně jedná u frézování bez PK o abrazivní opotřebení a i u EOPS 1030 bylo podobné opotřebení s občas znatelným poškozením (vrubem nebo vydrolením).

Myslím si, že kapalina EOPS 1030 dokázala kompenzovat svůj chladicí účinek při přerušovaném řezu např. mazacím účinkem a tím dokázala mít 2,5x až 3,5x větší trvanlivost než ostatní PK při sousledném frézování. U ostatních PK je viditelné velké opotřebení břitu. Soudím, že tyto kapaliny nedokázaly vynahradit tepelné šoky a tím ztratily velkou část trvanlivosti vůči obrábění bez PK.

Nejlepší trvanlivosti dosáhlo sousledné frézování bez PK (190 minut), které předčilo všechny kapaliny. Druhá v pořadí byla kapalina EOPS 1030 (126 minut), která ztratila 34% trvanlivosti na obrábění bez PK. Ostatní PK (54 až 37 minut) nedosáhly dobrých výsledků, když jejich ztráta trvanlivosti na frézování bez PK činily 71% až 80%.

8.4. Hodnocení kapalin při nesousledném frézování



Obr. 66 Trvanlivost břitů při nesousledném frézování

Z grafu na obr. 66 lze odečíst průměrné trvanlivosti břitů při nesousledném frézování s různými PK. Graf je řazen od největší po nejmenší trvanlivost a je doplněn o procentuální vyjádření, z kterého lze vyčíst procentuální úbytek trvanlivosti vůči obrábění bez PK.

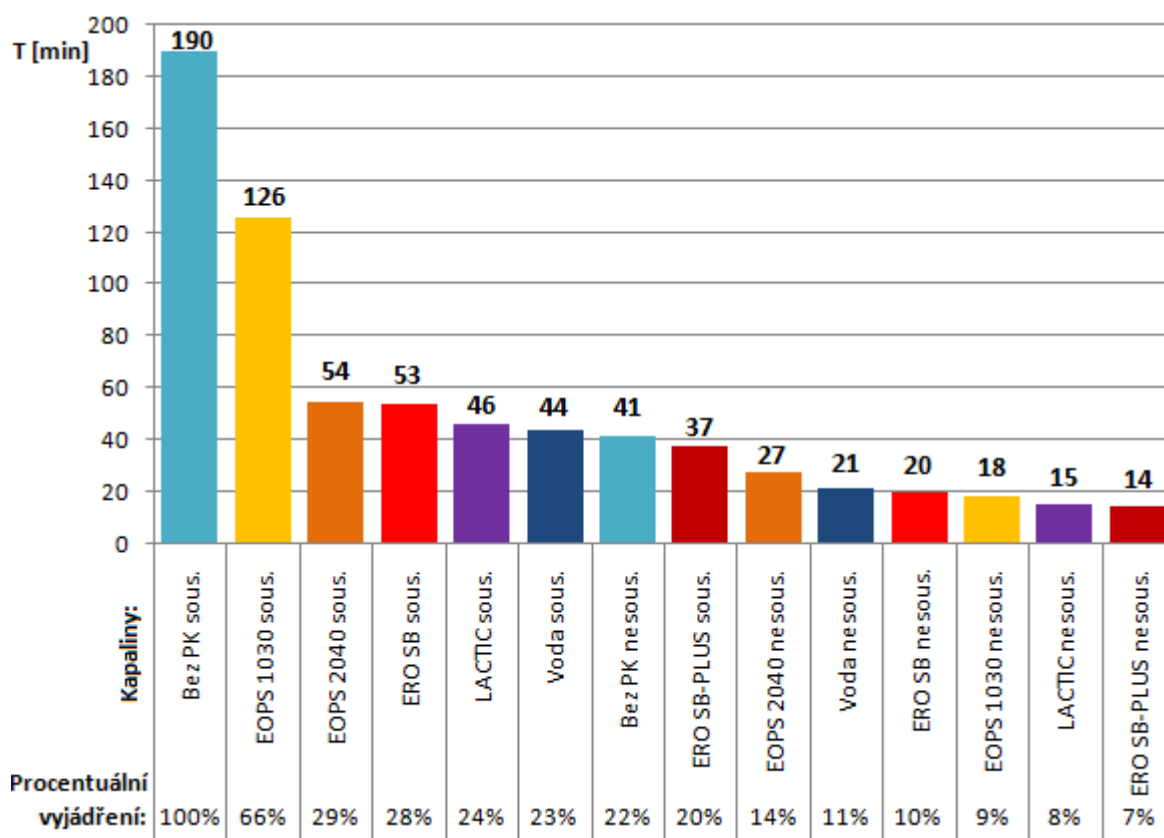
Pokud se podívám na detaily opotřebení břitu viz kapitola 8.2., kde jsou znatelné velká opotřebení břitu, domnívám se, že se pravděpodobně jedná u všech druhů procesního prostředí o vydrolení nebo vylomení břitu.

Pokud porovnáme obrábění bez PK a ostatní kapaliny, lze vidět skok. Ten si myslím, že je způsoben teplotními šoky. Kapalina EOPS 2040 dopadla nejlépe.

Předpokládám, že buď měla menší chladicí účinky (menší tepelný šok), nebo dokázala vytvořit na povrchu nástroje film, který snížil tření nebo dokázal snížit ulpívání třísek při výstupu břitu z obrobku.

Nejlepší trvanlivosti dosáhlo nesousledné frézování bez PK (41 minut), které předčilo všechny kapaliny. Druhá v pořadí je kapalina EOPS 2040 (27 minut) ztratila 34% trvanlivosti na obrábění bez PK. Ostatní PK (21 až 14 minut) nedosáhly uspokojivých výsledků, když jejich ztráta trvanlivosti na frézování bez PK činí 49% až 66%.

8.5. Hodnocení kapalin při sousledném i nesousledném frézování



Obr. 67 Trvanlivost břitů při frézování ocele 14 220

Z grafu obr. 67 lze odečíst průměrné trvanlivosti břitů při sousledném i nesousledném frézování s různými PK. Graf je řazen od největší po nejmenší trvanlivost a je doplněn o procentuální vyjádření, z kterého lze vyčíst procentuální úbytek vůči největší trvanlivosti při sousledném frézování bez PK.

Dále lze z grafu zjistit, že první polovinu grafu ovládá sousledné frézování s jednou výjimkou a to na sedmém místě, kam se zařadilo nesousledné frézování

bez PK. Toto nesousledné frézování bez PK přeskočilo nejhorší výsledek u sousledného frézování čímž je kapalina ERO SB-PLUS.

Kapalina ERO SB- PLUS dosáhla při obou druzích obrábění nejhorší trvanlivosti, a proto ji nedoporučuji pro frézování konstrukční oceli 14220.

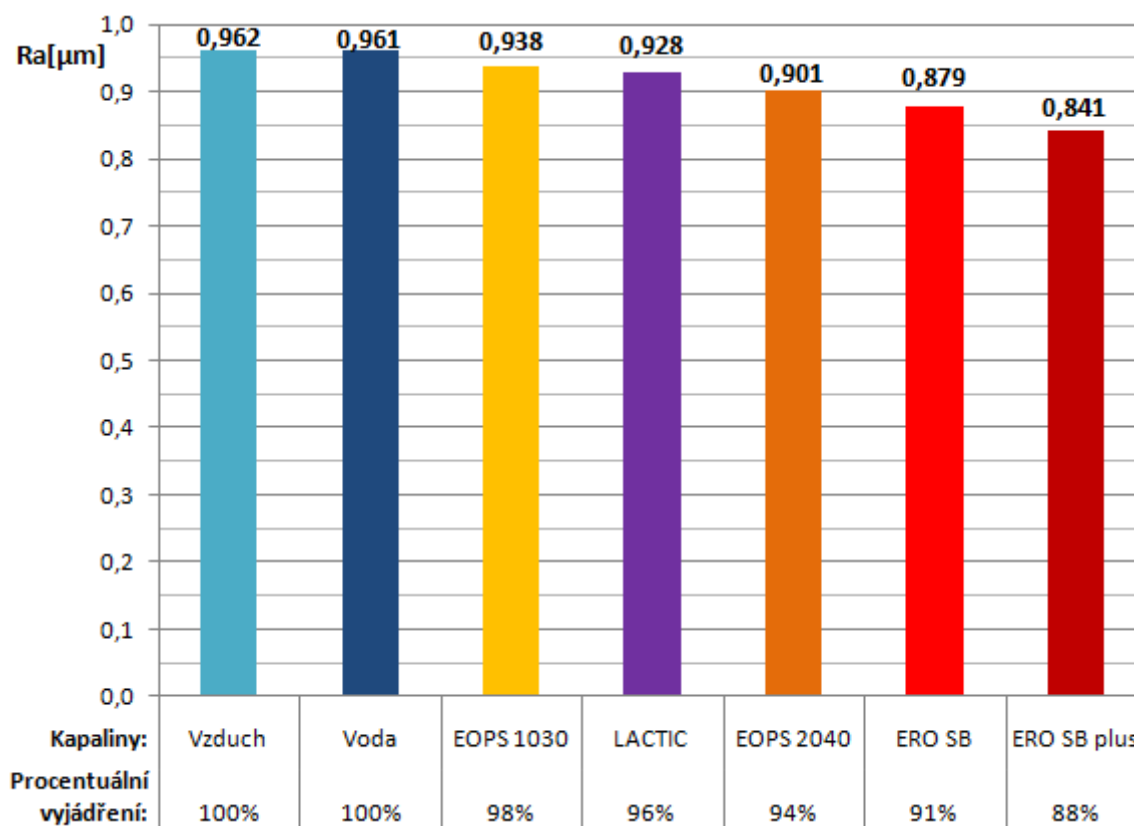
Kapaliny Voda, ERO SB a LACTIC nedosáhly dobrých výsledků, když se pohybovaly pod hranicí 50% trvanlivosti obrábění na sucho (bez PK), viz obr. 65, 66, a proto bych je též nedoporučil pro obrábění konstrukční oceli 14 220.

Kapaliny EOPS 1030 a EOPS 2040 se zařadily na druhá místa trvanlivosti a dosáhly shodně 66% trvanlivosti obrábění bez PK, viz obr. 65, 66, čímž je lze doporučit pro daný typ frézování.

8.6. Hodnocení kapalin z hlediska drsnosti povrchu

Tab. 16 Průměrná drsnost Ra při frézování

Procesní kapaliny	bez PK	Voda	EOPS 1030	LACTIC	EOPS 2040	ERO SB	ERO SB plus
Průměrné Ra[μm]	0,962 ± 0,031	0,961 ± 0,033	0,938 ± 0,060	0,928 ± 0,045	0,901 ± 0,042	0,879 ± 0,041	0,841 ± 0,044



Obr. 68 Drsnost Ra při frézování

V tab. 16 a na obr. 68 jsou uvedeny pouze průměrné hodnoty drsnosti Ra. Všechny naměřené hodnoty - viz příloha 6.

Z grafu obr. 68 lze odečíst průměrné drsnosti obrobeného povrchu při frézování s různými PK. Graf je řazen od nejhorší po nejlepší drsnost a je doplněn o procentuální vyjádření, z kterého lze vyčíst procentuální úbytek vůči nejhorší drsnosti při frézování bez PK.

Dále lze z grafu zjistit, že vliv PK na drsnost obrobené plochy není nějak velký. Nejlepšího zlepšení o 12% dosáhla kapalina ERO SB plus. Voda nedosáhla žádného zlepšení drsnosti. Ostatní kapaliny se vešly do 9% zlepšení povrchu než při obrábění bez PK. Z hlediska využití v praxi je toto zlepšení téměř zanedbatelné.

8.7. Shrnutí hodnocení

Při porovnávání PK od firmy PARAMO, a.s. a bez použití PK, jsem došel k závěru, že procesní kapalina má negativní vliv na trvanlivost nástroje při frézování konstrukční oceli 14 220. Předpokládám, že negativní vlivy PK předčily pozitivní vlivy PK na frézování. Myslím si, že mezi hlavní negativní vliv PK patří zvětšení teplotního rozdílu mezi teplotními stavy, když působí břit v záběru a mezi tím, když je břit mimo záběr, kdy je ochlazován PK, která se nachází na již obrobeném povrchu. U tohoto teplotního šoku předpokládám, že může docházet až k teplotním trhlinám na břitu, které snižují trvanlivost břitu. Naopak pozitivní vlivy PK spatřuji v mazacím účinku mezi nástrojem a obrobkem, v chladícím účinku v místě řezu a dále pak ve vytvoření tenkého filmu na nástroji, který zabraňoval ulpívání třísek na čele břitu.

Pro praxi má tedy smysl doporučovat frézování bez PK, ale pokud je potřeba použít kapalinu, doporučuji vzhledem k výsledkům trvanlivosti kapalinu EOPS 1030 pro sousledné a EOPS 2040 pro nesousledné frézování. Tyto kapaliny dosáhly pouze 34% zhoršení oproti obrábění bez PK.

Z výsledku experimentů je patrné, že sousledné frézování má násobně lepší trvanlivost břitu než nesousledné frézování. Tento výsledek dle mého názoru má příčiny v rozdílnostech mezi sousledným a nesousledným frézováním. Především považuji u nesousledného frézování za přítěž výstup břitu z řezu, kdy velká tloušťka třísky a vyšší teploty mohou být důvody ulpívání až navařování

třísek na čelo, kde jsou až do začátku dalšího řezu, nebo mohou způsobit okamžité vylomení ostří. Za další přítěž bych označil vstupování břitu do obrobku, kdy zub začne řezat až po určitém dosažení tloušťky třísky, před tím se nástroj pouze tře hřbetem o obrobek a dochází k přechování materiálů. U sousledného frézování považuji za špatný efekt moment vnikání ostří do obrobku, kdy dochází k rázům a okamžitě se začíná oddělovat maximální tříska.

Vzhledem k výsledkům trvanlivosti si myslím, že převažují negativní vlastnosti u nesousledného frézování a nezbyvá než doporučit pro praxi sousledné frézování pro obrábění konstrukční oceli 14 220. Nesousledné frézování lze preferovat, pokud je fréza vtahována do obrobku a hrozí nepřiměřeně velká tříska a tím velké rázy např. když má stroj vůle v posuvu.

Při hodnocení povrchu obrobené plochy nedošlo k výraznému zlepšení drsnosti. Předpokládám, že žádná z kapalin nedokázala výrazně zlepšit mazný efekt. Pozitivnější vliv PK předpokládám, že by mohl být v povrchové vrstvě materiálu vzhledem k chladícím účinkům PK.

Z výsledků drsnosti vyplývá, že maximální zlepšení při použití řezných kapalin je 12%. Z hlediska využití v praxi je toto zlepšení téměř zanedbatelné a proto nelze vyloženě doporučit nějakou PK.

Při experimentech na této diplomové práci bylo zničeno 9 VBD měřených, což je 70 břitů + 1 VBD pracovní a celková trvanlivost všech břitů dosáhla 3533 minut.

9. Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na obrábění konstrukční oceli 14 220 technologií frézování. Obrábění bylo realizováno nástrojovou frézou FNG 32. Nástrojem byla čelní rovinná negativní fréza s osazeným jedním lůžkem pro výměnou břitovou destičku, která byla z nepovlakovaného slinutého karbidu S30. Cílem práce bylo při obrábění analyzovat vliv procesních kapalin (PK) a obrábění na sucho (bez PK) na trvanlivost břitu při sousledném a nesousledném frézování, dále pak porovnat kvalitu obrobené plochy po frézování s PK a bez PK.

Pro tyto účely byla použita jako PK voda a dalších pět druhů kapalin na bázi vody EOPS 1030, EOPS 2040, ERO-SB, ERO-SBPLUS, LACTIC, které byly dodány od firmy PARAMO, a.s.

Pro posouzení trvanlivosti byl za hlavní parametr určen čas obrábění do opotřebení hřbetu břitu 0,7 mm a pro posouzení kvality povrchu byla za hlavní parametr určena drsnost povrchu Ra. Při procentuálních porovnávání výsledků jsem použil za výchozí parametr frézování bez PK (na sucho).

- I. Bylo zjištěno, že při nesousledném frézování konstrukční oceli 14 220 se trvanlivost břitu několikrát snížila proti souslednému frézování.
 - a. Při sousledném frézování s obráběcí kapalinou EOPS 1030 byla zjištěna trvanlivost sedmkrát větší než u nesousledného frézování.
 - b. Při sousledném frézování bez PK (za sucha) byla zjištěna trvanlivost 4,6 krát větší než u nesousledného frézování.
 - c. Při sousledném frézování s obráběcí kapalinou LACTIC byla trvanlivost třikrát větší než u nesousledného frézování.
 - d. Při sousledném frézování s obráběcí kapalinou ERO-SB byla zjištěna trvanlivost 2,7 krát větší než u nesousledného frézování.
 - e. Při sousledném frézování s obráběcí kapalinou ERO-SB PLUS byla zjištěna trvanlivost 2,7 krát větší než u nesousledného frézování.
 - f. Při sousledném frézování s použitím vody byla zjištěna trvanlivost 2,1 krát větší než u nesousledného frézování.

- g.** Při sousledném frézování s obráběcí kapalinou EOPS 2040 byla zjištěna trvanlivost dvakrát větší než u nesousledného frézování.

Největší sedminásobný nárůst trvanlivosti při změně kinematiky frézování dosáhla PK EOPS 1030, kdy měla při sousledném frézování 126 minut a při nesousledném 18 minut.

Nejmenší dvojnásobný nárůst trvanlivosti při změně kinematiky frézování dosáhla PK EOPS 2040, kdy měla při sousledném frézování 54 minut a při nesousledném 27 minut.

- II.** Bylo zjištěno, že při sousledném frézování bylo dosaženo největší trvanlivost bříty při obrábění bez PK (za sucha), kdy byla dosažena trvanlivost 190 minut.

- a.** Při sousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny EOPS 1030 klesla trvanlivost o 34% proti frézování bez PK.
- b.** Při sousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny EOPS 2040 klesla trvanlivost o 71% proti frézování bez PK.
- c.** Při sousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny ERO-SB klesla trvanlivost o 72% proti frézování bez PK.
- d.** Při sousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny LACTIC klesla trvanlivost o 76% proti frézování bez PK.
- e.** Při sousledném frézování s použitím vody klesla trvanlivost o 77% proti frézování bez PK (za sucha).
- f.** Při sousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny ERO-SB PLUS klesla trvanlivost o 80% proti frézování bez PK.

Nejlepší 66% trvanlivosti při sousledném frézování vůči obrábění bez PK dosáhla PK EOPS 1030, která měla trvanlivost 126 minut.

Nejhorší 20% trvanlivosti při sousledném frézování vůči obrábění bez PK dosáhla PK ERO-SB PLUS, která měla trvanlivost 37 minut.

- III.** Bylo zjištěno, že při nesousledném frézování bylo dosaženo největší trvanlivost bříty při obrábění bez PK (za sucha), kdy byla dosažena trvanlivost 41 minut.

- a.** Při nesousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny EOPS-2040 klesla trvanlivost o 34% proti frézování bez PK.

- b.** Při nesousledném frézování s použitím vody klesla trvanlivost o 49% proti frézování bez PK.
- c.** Při nesousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny ERO-SB klesla trvanlivost o 52% proti frézování bez PK.
- d.** Při nesousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny EOPS 1030 klesla trvanlivost o 56% proti frézování bez PK.
- e.** Při nesousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny LACTIC klesla trvanlivost o 63% proti frézování bez PK.
- f.** Při nesousledném frézování s použitím obráběcí kapaliny ERO-SB PLUS klesla trvanlivost o 66% proti frézování bez PK.

Nejlepší 66% trvanlivosti při nesousledném frézování vůči obrábění bez PK dosáhla PK EOPS 2040, která měla trvanlivost 27 minut.

Nejhorší 34% trvanlivosti při nesousledném frézování vůči obrábění bez PK dosáhla PK ERO-SB PLUS, která měla trvanlivost 14 minut.

IV. Naměřené hodnoty drsnosti ukazují, že vliv PK na drsnost povrchu proti obrábění bez PK je téměř nevýznamný.

- a.** PK voda reálně povrch nezlepšila
- b.** Kapaliny ERO-SB a ERO-SB PLUS nejvíce zlepšili drsnost povrchu až o 12%.

V. Pro praxi vyplívají následující doporučení:

- a.** Vzhledem k hodnotám trvanlivosti preferovat sousledné frézování před nesousledným frézováním konstrukční oceli 14 220.
- b.** Dle výsledků má smysl doporučovat frézování oceli 14220 bez PK.
- c.** Při použití PK doporučuji aplikovat u sousledného frézování kapalinu EOPS 1030 a u nesousledného kapalinu EOPS 2040.

V návaznosti na tuto práci by bylo příhodné pokračovat ve výzkumu vlivu PK a nadále je testovat. Následující výzkum by se mohl zabývat ostatními druhy PK a také by se mohl vydat cestou testování jiných řezných materiálů při frézování konstrukční oceli 14 220.

Seznam literatury

- [1] DRÁB, V., aj. *Technologie I.* (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: VŠST Liberec, 1985. Dostupné na: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_skr.pdf.
- [2] ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 - 1. díl - Metody, stroje a nástroje na obrábění*. 1. vyd. Praha: Pedagogické nakladatelství Scientia, spol. s.r.o., 2000. 256s. ISBN 80-7183-207-3.
- [3] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [4] SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Technická příručka*. [online]. Dostupné na: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/Pages/default.aspx.
- [5] JERSÁK, J. *Základní pojmy, podstata technologie obrábění* (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2001. Dostupné na: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_pod.zip.
- [6] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II - 1. díl*. 1. vyd. [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 119 s. Dostupné na: http://homel.vsb.cz/~cep77/tech_II.htm.
- [7] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II - 2. díl*. 1. vyd. [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 142 s. Dostupné na: http://homel.vsb.cz/~cep77/tech_II.htm.
- [8] BILÍK, O., MÁDL, J. *Trvanlivost bříty a provozní spolehlivost obráběcího nástroje*. (sv. 1 Knihovničky strojírenské technologie). Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2001, 86 s. ISBN 80-7044-389-8
- [9] *Komplexní charakteristika povrchové vrstvy - integrity povrchu*. [online]. 2008. Dostupné na: <http://www.techportal.cz/1/1/komplexni-charakteristika-povrchove-vrstvy-integrita-povrchu-cid189084/>
- [10] KARÁSEK, J. *Drsnost povrchu*. [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2001. Dostupné na: http://www.kom.tul.cz/soubory/mm_pod.zip.
- [11] HOMMEL CS s.r.o. *Drsnost povrchu*. [online]. Dostupné na: <http://www.hommel-etamic.cz/cz/pdf/HOMMEL%20CS%20plakat.pdf>
- [12] BENEŠ, P. *Chladicí a mazací schopnost procesních kapalin při obrábění [Diplomová práce]*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2009. 78 s. Dostupné na: <http://knihovna.tul.cz/Katedra-obrabeni-a-montaze-%28KOM%29-159838.php>
- [13] HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80- 7044-616-1.

- [14] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [15] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 1. Vyd. Úvaly: Albra, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2
- [16] STRÁNSKÝ, L. *Konstrukční oceli* (prezentace na přednášku). [online] Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav materiálových věd a inženýrství. Dostupné na: ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/3SV/04A-3SV.ppt
- [17] SRBEK, B. *Vlastnosti konstrukčních ocelí v systému jakosti podle EN a ČSN*. [online] Jablonec nad Nisou: Jamot a.s. Dostupné na <http://www.teseco.cz/pdf/oceli.pdf>
- [18] *Ocel 14220*. [online] Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav strojírenské technologie, Obor technologie tváření kovů a plastů. Dostupné na: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_14220.pdf
- [19] Feron, a.s. Velkoobchod hutním materiálem. *Katalog*. [online] Dostupné na: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php>
- [20] TOS Olomouc, spol. s r.o. *Nástrojařská frézka FNG 32* [online] Dostupné na: <http://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf>
- [21] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Frézování 2010*. [online]. Dostupné na: <http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Milling%202010%20CZ%20prog.pdf>
- [22] MITUTOYO. *Přístroje na měření povrchu a tvaru*. [online]. Dostupné na: <http://www.mitutoyo-czech.cz/sk/pdf/350-369.pdf>
- [23] KREJČÍK, L., PSCHERA, J. *Kapaliny pro obrábění*. [online]. 2011. Dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kapaliny-pro-obrabeni.html>
- [24] *Obrábění zasucha - ano, či ne?*. [online]. 2001. Dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-zasucha-ano-ci-ne.html>
- [25] PARAMO, a.s. *PARAMO Products Catalogue*. [online]. 2001. Dostupné na: <http://www.paramo.cz/cs/sys/galerie-download/products-catalogue-Paramo.pdf>
- [26] VENZARA, P. *Návrh podmínek obrábění pro vrtání geopolymerů. [Diplomová práce]*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2011. 89 s. Dostupné na: <http://knihovna.tul.cz/Katedra-obrabeni-a-montaze-%28KOM%29-159838.php>

Seznam příloh

- Příloha 1: Materiálový list ocele 14220
- Příloha 2: Technické parametry frézky FNG 32
- Příloha 3: Vlastnosti výměnné břitové destičky SNUN 120412 ;S30
- Příloha 4: Technické parametry Mitutoyo SV-2000 N2
- Příloha 5: Naměřené hodnoty při měření trvanlivosti
- Příloha 6: Naměřené hodnoty při měření drsnosti
- Příloha 7: Vlastnosti procesních kapalin

III. Přílohová část

Příloha 1

Materiálový list ocele 14220 [16]

ČSN 41 4220

STN 41 4220

Mn-Cr ocel k cementování

OCEL

14 220

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	Cr	P	S
0,14–0,19	1,10–1,40	0,17–0,37	0,80–1,10	max 0,035	max 0,035

Polotovary

[1] předvalky

[2] tyče válcované za tepla

[3] výkovky

[4] bezešvé trubky tvářené za tepla

[5] přesné bezešvé trubky tvářené za studena

[6] tyče tažené za studena

[7] pásy a pruhy válcované za studena

Mechanické vlastnosti

Polotovar	[2] [3]	[2]	[3] [4] [5] [6]	[7]	
Rozměr t, d [mm]	–	–	–	–	
Stav	.1	.3	.3	.3	.2
Mez kluzu R _e nebo R _p 0,2 [MPa] min	–	588	–	–	
Mez pevnosti R _m [MPa]				max 637	–
Tvrdost HB	min 152	max 197	max 197	–	max 207
Modul pružnosti E [GPa]	206				
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	79				
Polotovar	[2]	[3]	[2]	[1] [2] ²⁾	
Rozměr t, d [mm]	30 ¹⁾	30 ¹⁾	–	30 ¹⁾	63 ¹⁾
Stav	.4	.4	.6	.4	
Mez kluzu R _e nebo R _p 0,2 [MPa] min	–	588	–	680	inf. 560
Mez pevnosti R _m [MPa] min	785	785		900	inf. 800
Tažnost A ₅ [%] min	10	10	–	10	inf. 10
Koncentrace Z [%] min	30	30	–	30	inf. 30
Vrbová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	49	49		50	inf. 50
Tvrdost HB	min 239	min 239	208-269	–	–

Fyzikální vlastnosti

Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Rezistivita
ρ [kg.m ⁻³]	c _p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	α [K ⁻¹]	λ _t [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	ρ [Ω.m]
7 850	–	11,0.10 ⁻⁶	–	–

Technologické údaje

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

normalizační žhání	880-920 °C	ochlazovat na vzduchu
žhání na měkko	680-720 °C	ochlazovat v peci
cementování v plynu	900-930 °C	ochlazovat na vzduchu nebo v ochlazovací jednotce
v prášku	860-900 °C	ochlazovat v cementační krabici nebo na vzduchu
v solné lázni	890-910 °C	ochlazovat na vzduchu
kalení	810-840 °C	ochlazovat v oleji nebo v lázni 150-200 °C
popouštění	150-200 °C	ochlazovat na vzduchu
zušlechťování - kalení	850-880 °C	ochlazovat v oleji, tlustší součást ve vodě
- popouštění	podle pož. pevnosti	ochlazovat na vzduchu
kalení ref. vzorku - 1. kalení	840-870 °C	ochlazovat v oleji
- 2. kalení	810-830 °C	ochlazovat v oleji
teploty přeměn	$A_{C1} \sim 740\text{ °C}$	$A_{C3} \sim 840\text{ °C}$ $M_s \sim 400\text{ °C}$
tvrdost cementeční vrstvy	$\sim 63\text{ HRC}$	
prokalitelnost	do 65 mm (voda)	do 40 mm (olej)

TVAŘITELNOST

třída tvařitelnosti za tepla 1	teploty tváření	1 200–800 °C ochlazovat na vzduchu
--------------------------------	-----------------	------------------------------------

SVAŘITELNOST

dobrá

OBROBITELNOST

		soustružení, hoblování	frézování, vrtání
polotovary [2] [3] stav .3	$R_m \leq 640\text{ MPa}$	14b	14b
stav .6	$R_m \leq 880\text{ MPa}$	12b	12b
stav .4	$R_m \leq 1240\text{ MPa}$	10b	10b

pro hladké obrábění se doporučuje zušlechtění na $R_m = 690-880\text{ MPa}$

Použití

Vhodná pro strojní součásti pro zušlechtění do průměru 35 mm, k cementování s velkou pevností v jádře, např. hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky.

Ostatní vlastnosti

Druh oceli podle způsobu výroby	Barevné značení podle ČSN 42 0010	Třída odpadu podle ČSN 42 0030
martinská nebo elektroocel	modrá-zelená-černá	033

Příloha 2

Technické parametry frézky FNG 32 [20]

TECHNICKÉ ÚDAJE

STŮL			
Rozměr pracovní plochy	mm	800 x 400	
Upínací drážky – počet		7	
– šířka a rozteč	mm	14 x 50	
Maximální zatížení stolu	kg	350	
Pracovní zdvih – podélný (X)	mm	600	
– příčný (Y)	mm	400	
– svislý (Z)	mm	400	
Posuvy – počet stupňů		plynule	
– rozsah X, Y	mm/min.	15–1 000	
– rozsah Z	mm/min.	6–400	
Rychloposuv X, Y	mm/min.	2 000	
Z	mm/min.	800	
HORIZONTÁLNÍ VŘETENO			
ISO40			
Vzdálenost osy vřetene od plochy pevného stolu	mm	148–548	
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000	
Počet rychlostních stupňů		2	
Řazení otáček		plynulé	
VERTIKÁLNÍ VŘETENO			
ISO40			
Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	mm	250–650	
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000	
Počet rychlostních stupňů		2	
Řazení otáček		plynulé	
Natočení vřetena		± 90°	
Výsuv pinoly	mm	80	
Upínání nástroje		pneu-hydraulické	
STROJ			
Výkon hlavního motoru	kW	4,0	
Výkon posuvového motoru	kW	1,1	
Celkový příkon	kVA	22	
Hmotnost	kg	2 500	
Zastavěná plocha	mm	2 070 x 2 120	
Výška	mm	2 115	

FNG 32

PROVEDENÍ STROJE

Standardní provedení:

- pneumaticko-hydraulické upínání nástroje
- pevný úhlový stůl o rozměrech 800 x 400 mm
- vertikální hlava s odklápěčem
- frekvenční měnič v pohonu vřetene
- hrubý a jemný výsuv pinoly
- strojní posuvy X, Y, Z (plynule stavitelné posuvy)
- ruční kola na osách X, Y a Z s odměřovacími číselníky s dělením 0,01 mm
- centrální mazání s dávkovači
- chlazení nástroje
- elektrovýzbroj pro napětí 3 x 400 V/50 Hz
- nátěr stroje – modrošedá barva odstín RAL 5010 / RAL 9002
- osvětlení pracovního prostoru
- kryt pracovního prostoru

Jiné provedení:

(nutno uvést v objednávce)

- stroj se stolem otočným a sklopným TU32N, upínací plocha Ø 600 x 400 mm
- stroj s ramenem a podpěrným ložiskem LFH32N
- kulíčkové šrouby v osách X a Y
- kryt svislého vedení
- provedení pro palcovou odměřovací soustavu
- elektrická výzbroj pro hodnoty napětí jiné než 3 x 400 V/50 Hz
- jiný barevný odstín
- vybavení stroje číslíkovou indikací polohy

NORMÁLNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ:

Nádoba na třísky

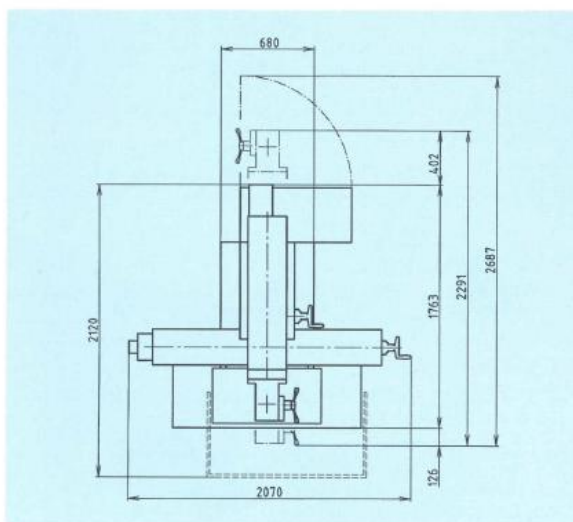
1 ks upínací koncovka 311 11 2328.00

Krátký frézovací tm 40 x 22 x 37

ZVLÁŠTNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ


(dodává se na zvláštní objednávku za příplatek)

Obráběcí hlava	IOB 32N
Dělicí přístroj jednoduchý	DJ 250A
Otočný stůl s dělicím zařízením	320
Strojní svěrák pevný	125
Točnice	125
Strojní svěrák otočný a sklopný	125
Strojní svěrák samostředící	125
Frézovací trny krátké	40 x 16 x 29
	40 x 22 x 19
	40 x 22 x 37
	40 x 27 x 47
	40 x 32 x 60
Frézovací tm dlouhý	40 x 22 x 500
(pro rameno s podpěrným ložiskem)	40 x 27 x 500
	40 x 32 x 500
	40 x 40 x 500
Redukční pouzdra	40 x 30
	40 x 2
	40 x 3
Vrtačkové sklíčidlo tříčelístové	13-B12
Tm pro vrtačkové sklíčidlo	B12 x 2
Upínací pouzdra se sadou vložek	40 x 16
	40 x 28



Příloha 3

Vlastnosti výměnné břitové destičky SNUN 120412 ;S30 [21]

NEPOVLAKOVANÉ MATERIÁLY PRO FRÉZOVÁNÍ NEPOVLAKOVANÉ MATERIÁLY PRE FRÉZOVANIE												
Označení materiálu a mikrostruktura Označenie materiálu a mikroštruktúra	Aplicační oblasti Aplicačné oblasti				Skupina obráběných materiálů Skupina obrábaných materiálů						Popis materiálu a doporučené užití Popis materiálu a doporučené použitie	
S30	10	20	30	40	P	M	K	N	S	H		
											<ul style="list-style-type: none"> - materiál s kubickými karbidy (typ S) - obrábění materiálů skupin P - střední a vyšší posuvy - nízké řezné rychlosti - nestabilní záběrové podmínky <ul style="list-style-type: none"> - materiál s kubickými karbidmi (typ S) - obrábanie materiálů skupiny P - stredné a vyššie posuvy - nízke rezné rýchlosti - nestabilné záberové podmienky 	

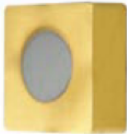
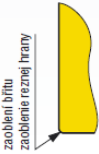
ROZDĚLENÍ OBRÁBĚNÝCH MATERIÁLŮ ROZDELENIE OBRÁBANÝCH MATERIÁLŮV

Při volbě nástroje a startovních řezných podmínek je jednou z nejdůležitějších věcí správná identifikace obráběného materiálu. Pro zjednodušení rozdělujeme obráběné materiály v souladu s normou ISO 513 do šesti základních skupin v nichž jsou sdružovány materiály, které vyvolávají kvalitativně stejný typ zatížení (namáhání) břitu a tudíž vyvolávají i podobný typ opotřebení.

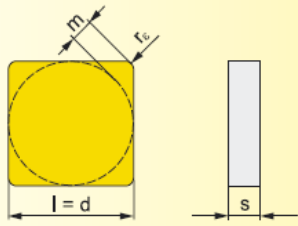
P

uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12
legované oceli tříd 13, 14, 15, 16
nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...)
nástrojové legované oceli (193... až 198...)
uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...)
nízko a středně legované ocelolity skupiny 27 (4227...)
feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., lité 4229...)


**GEOMETRIE FRÉZOVACÍCH VBD
GEOMETRIA FRÉZOVACÍCH VRD**

geometria	foto	Skupina obr. materiálu						Funkční diagram / Funkčný diagram	popis	Použito u VBD / Použité pri VRD: SNUN 120408, SNUN 120412 SNUN 150412
		typ fréz.	P	M	K	N	S			
SNUN		Lehké	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		<ul style="list-style-type: none"> - standardní negativní řezná geometrie - prioritně jsou tyto VBD určeny pro soustružení - vhodná pro obrábění materiálů skupin K a H, dále použitelná pro materiály skupiny P - pro frézy s úhlem nastavení 75° - pro velikost 12 jsou k dispozici rádiusy 0,8 a 1,2 - standardná negativna rezná geometria - prioritne sú tieto VRD určené pre sústruženie - vhodná pre obrábanie materiálov skupín K a H, použiteľná aj pre materiály skupiny P - pre frézy s úhľom nastavenia 75° - pre veľkosť 12 sú k dispozícii rádiusy 0,8 a 1,2
	Profil hlavního břítu Profil hlavného ostria	Střední	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
		Těžké	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>		
Rozsah řezných podmínek / Rozsah rezných podmienok:										
f_z									$(0,10) \div 0,40$ [mm.zub ⁻¹]	
a_p									$0,5 \div (9,0)$ 13,5 [mm]	

☒ - hlavní oblast použití / hlavná oblasť použitia
 ☐ - ďalší použití / ďalšie použítie
 ☐ - podmíněné použití / podmienené použítie

SNUN 	Velikost Velikost	l	d	s	m	r _e
	1204	12,700	12,700	4,76	2,30	0,8
	1504	15,875	15,875	4,76	2,80	1,2

Nástroje viz str. / Nástroje viz str.: 50

Utvařeč Utvárač	ISO	ANSI	Materiály										Rádus r _c	Posuv na zub		Hloubka řezu Hĺbka rezu	
			8016	8230	S26	S30								f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
	SNUN 120408	SNUN 432	●	●								0,8	0,10	0,40	1,00	9,00	
	SNUN 120412	SNUN 433		●	●	○						1,2	0,10	0,40	1,20	9,00	
	SNUN 150412	SNUN 533		●	●							1,2	0,10	0,40	1,20	13,50	

● skladovaný ○ neskladovaný

všechny rozměry v / všechny rozměry v [mm]

Příloha 4

Technické parametry Mitutoyo SV-2000 N2 [22]

Technické parametry

Zdvih doteku: 800 μm
Rozlišení: 0,0001 μm
Posuv (osa X): 50 mm
Nejmenší Cut-Off: 0,025 mm
Oddychka přímosti: 0,3 μm / 50 mm

55 parametrů

Ra, Rq, Ry, Rz, R3z, Rt, Rp, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2,
S, Sm, Pc, mr, A1, A2, Rv, R, Rv, W, Wx, Wte, mrd,
HSC, AW, AR, Vo, Δa, Δq, Ku, δc, Lo, Sk, Rt, R3z,
R3y, Rc, Rpm, Rpi, Rvmax, plateau ratio, λa, λq,
Lr, SR, SAR, NR, NCRX, CPM, SW, SAW, NW, Vo

Přístroj na měření drsnosti povrchu „Surftest SV-2000“

Špičková technologie s ponorem – pro náročnou kontrolu povrchu v měřicím středisku a laboratoři.

- Perfektní měření vztažných rovin při mobilním a stacionárním použití.



Surftest SV-2000

Model	Posuv	Přestavení výšky	Rozměr základní desky
SV-2000 N2	50 mm	opce	opce
SV-2000 S2	50 mm	300 mm motorické	610 x 450 mm

Příloha 5

Naměřené hodnoty při měření trvanlivosti

Bez PK sousledně														
Břit 1					Břit 2					Břit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	110	110	2,5	0,00	1	490	490	11,1	0,10	1	490	490	11,1	0,05
2	420	530	12	0,10	2	490	980	22,3	0,15	2	490	980	22,3	0,10
3	440	970	22	0,20	3	490	1470	33,4	0,20	3	490	1470	33,4	0,20
4	440	1410	32	0,20	4	490	1960	44,5	0,25	4	490	1960	44,5	0,20
5	440	1850	42	0,25	5	490	2450	55,7	0,25	5	490	2450	55,7	0,30
6	440	2290	52	0,25	6	490	2940	66,8	0,25	6	490	2940	66,8	0,30
7	440	2730	62	0,25	7	490	3430	78	0,30	7	490	3430	78	0,40
8	440	3170	72	0,25	8	490	3920	89,1	0,35	8	490	3920	89,1	0,50
9	440	3610	82	0,25	9	490	4410	100	0,40	9	490	4410	100	0,60
10	440	4050	92	0,30	10	490	4900	111	0,45	10	490	4900	111	0,60
11	440	4490	102	0,30	11	490	5390	123	0,50	11	490	5390	123	0,70
12	440	4930	112	0,35	12	490	5880	134	0,55					
13	440	5370	122	0,35	13	490	6370	145	0,55	Břit 4				
14	440	5810	132	0,40	14	490	6860	156	0,60	0	0	0	0	0,00
15	440	6250	142	0,40	15	490	7350	167	0,65	1	490	490	11,1	0,10
16	440	6690	152	0,50	16	490	7840	178	0,65	2	490	980	22,3	0,15
17	440	7130	162	0,50	17	490	8330	189	0,70	3	490	1470	33,4	0,20
18	440	7570	172	0,50						4	490	1960	44,5	0,20
19	440	8010	182	0,55	Břit 5					5	490	2450	55,7	0,25
20	440	8450	192	0,55	0	0	0	0	0,00	6	490	2940	66,8	0,25
21	440	8890	202	0,60	1	490	490	11,1	0,10	7	490	3430	78	0,30
22	440	9330	212	0,60	2	490	980	22,3	0,15	8	490	3920	89,1	0,30
23	440	9770	222	0,60	3	490	1470	33,4	0,20	9	490	4410	100	0,35
24	440	10210	232	0,65	4	490	1960	44,5	0,20	10	490	4900	111	0,35
25	440	10650	242	0,65	5	490	2450	55,7	0,25	11	490	5390	123	0,40
26	440	11090	252	0,65	6	490	2940	66,8	0,30	12	490	5880	134	0,45
27	440	11530	262	0,65	7	490	3430	78	0,35	13	490	6370	145	0,45
28	440	11970	272	0,70	8	490	3920	89,1	0,40	14	490	6860	156	0,50
					9	490	4410	100	0,50	15	490	7350	167	0,55
					10	490	4900	111	0,55	16	490	7840	178	0,60
					11	490	5390	123	0,60	17	490	8330	189	0,60
					12	490	5880	134	0,65	18	490	8820	200	0,65
					13	490	6370	145	0,70	19	490	9310	212	0,65
										20	490	9800	223	0,70

Bez PK nesousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	520	520	11,8	0,15	1	520	520	11,8	0,20	1	520	520	11,82	0,15
2	520	1040	23,6	0,40	2	520	1040	23,6	0,50	2	520	1040	23,64	0,45
3	520	1560	35,5	0,60	3	520	1560	35,5	0,70	3	520	1560	35,45	0,68
4	250	1810	41,1	0,70						4	100	1660	37,73	0,70
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	520	520	11,8	0,10	1	520	520	11,8	0,15					
2	520	1040	23,6	0,30	2	520	1040	23,6	0,35					
3	520	1560	35,5	0,55	3	520	1560	35,5	0,60					
4	520	2080	47,3	0,70	4	250	1810	41,1	0,68					
					5	150	1960	44,5	0,70					

Voda sousousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	490	490	11,1	0,30	1	490	490	11,14	0,15	1	490	490	11,14	0,25
2	490	980	22,3	0,50	2	490	980	22,27	0,30	2	490	980	22,27	0,40
3	490	1470	33,4	0,60	3	490	1470	33,41	0,50	3	490	1470	33,41	0,65
4	350	1820	41,4	0,70	4	490	1960	44,55	0,60	4	250	1720	39,09	0,70
					5	350	2310	52,5	0,70					
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	240	240	5,45	0,10	1	340	340	7,727	0,15					
2	490	730	16,6	0,25	2	490	830	18,86	0,30					
3	490	1220	27,7	0,45	3	490	1320	30	0,50					
4	490	1710	38,9	0,65	4	490	1810	41,14	0,65					
5	100	1810	41,1	0,70	5	100	1910	43,41	0,70					

Voda nesousousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	270	270	6,14	0,50	1	320	320	7,27	0,50	1	200	200	4,55	0,25
2	250	520	11,8	0,70	2	200	520	11,8	0,60	2	250	450	10,2	0,40
					3	320	840	19,1	0,70	3	270	720	16,4	0,50
										4	250	970	22	0,60
										5	270	1240	28,2	0,70
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	520	520	11,8	0,48	1	220	220	5	0,40					
2	250	770	17,5	0,58	2	200	420	9,55	0,55					
3	270	1040	23,6	0,68	3	250	670	15,2	0,65					
4	100	1140	25,9	0,70	4	200	870	19,8	0,70					

EOPS 1030 sousledně																
Brit 1						Brit 2						Brit 3				
m [-]	l [mm]	L [mm]	T [min]	VB [mm]		m [-]	l [mm]	L [mm]	T [min]	VB [mm]		m [-]	l [mm]	L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0	0	0,00		0	0	0	0	0,00		0	0	0	0	0,00
1	490	490	11,1	0,15		1	490	490	11,1	0,20		1	490	490	11,1	0,10
2	490	980	22,3	0,20		2	490	980	22,3	0,25		2	490	980	22,3	0,15
3	490	1470	33,4	0,35		3	490	1470	33,4	0,40		3	490	1470	33,4	0,20
4	490	1960	44,5	0,45		4	490	1960	44,5	0,45		4	490	1960	44,5	0,20
5	490	2450	55,7	0,55		5	490	2450	55,7	0,50		5	350	2310	52,5	0,25
6	490	2940	66,8	0,70		6	490	2940	66,8	0,60		6	490	2800	63,6	0,25
						7	490	3430	78	0,65		7	490	3290	74,8	0,28
						8	490	3920	89,1	0,70		8	490	3780	85,9	0,30
												9	490	4270	97	0,35
Brit 4						Brit 5						10	490	4760	108	0,35
0	0	0	0	0,00		0	0	0	0	0,00		11	490	5250	119	0,40
1	490	490	11,1	0,10		1	490	490	11,1	0,15		12	490	5740	130	0,40
2	490	980	22,3	0,15		2	490	980	22,3	0,20		13	490	6230	142	0,43
3	490	1470	33,4	0,25		3	490	1470	33,4	0,30		14	350	6580	150	0,45
4	490	1960	44,5	0,30		4	490	1960	44,5	0,35		15	490	7070	161	0,45
5	490	2450	55,7	0,38		5	490	2450	55,7	0,43		16	490	7560	172	0,50
6	490	2940	66,8	0,45		6	490	2940	66,8	0,50		17	490	8050	183	0,55
7	490	3430	78	0,53		7	490	3430	78	0,55		18	490	8540	194	0,58
8	490	3920	89,1	0,58		8	490	3920	89,1	0,6		19	490	9030	205	0,65
9	490	4410	100	0,6		9	490	4410	100	0,63		20	490	9520	216	0,70
10	490	4900	111	0,65		10	490	4900	111	0,65						
11	490	5390	123	0,65		11	490	5390	123	0,7						
12	490	5880	134	0,7												

EOPS 1030 nesousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m [-]	l [mm]	L [mm]	T [min]	VB [mm]	m [-]	l [mm]	L [mm]	T [min]	VB [mm]	m [-]	l [mm]	L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	340	340	7,73	0,25	1	520	520	11,8	0,50	1	520	520	11,8	0,55
2	520	860	19,5	0,70	2	200	720	16,4	0,60	2	260	780	17,7	0,70
					3	150	870	19,8	0,65					
					4	150	1020	23,2	0,70					
Brit 4					Brit 5									
m [-]	l [mm]	L [mm]	T [min]	VB [mm]	m [-]	l [mm]	L [mm]	T [min]	VB [mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	260	260	5,91	0,50	1	260	260	5,91	0,35					
2	260	520	11,8	0,70	2	520	780	17,7	0,70					

EOPS 2040 sousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	300	300	6,82	0,15	1	450	450	10,2	0,30	1	250	250	5,682	0,10
2	450	750	17	0,35	2	450	900	20,5	0,45	2	450	700	15,91	0,15
3	450	1200	27,3	0,45	3	450	1350	30,7	0,50	3	450	1150	26,14	0,23
4	450	1650	37,5	0,50	4	450	1800	40,9	0,55	4	450	1600	36,36	0,35
5	450	2100	47,7	0,60	5	450	2250	51,1	0,65	5	450	2050	46,59	0,50
6	250	2350	53,4	0,70	6	190	2440	55,5	0,70	6	450	2500	56,82	0,70
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	450	450	10,2	0,10	1	450	450	10,2	0,15					
2	450	900	20,5	0,15	2	450	900	20,5	0,30					
3	450	1350	30,7	0,25	3	450	1350	30,7	0,40					
4	450	1800	40,9	0,45	4	450	1800	40,9	0,50					
5	450	2250	51,1	0,70	5	450	2250	51,1	0,65					
					6	150	2400	54,5	0,70					

EOPS 2040 nesous.														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	480	480	10,9	0,35	1	480	480	10,9	0,40	1	200	200	4,55	0,20
2	260	740	16,8	0,60	2	480	960	21,8	0,60	2	480	680	15,5	0,35
3	220	960	21,8	0,65	3	280	1240	28,2	0,70	3	480	1160	26,4	0,55
4	250	1210	27,5	0,70						4	240	1400	31,8	0,70
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	240	240	5,45	0,20	1	480	480	10,9	0,50					
2	480	720	16,4	0,50	2	240	720	16,4	0,65					
3	480	1200	27,3	0,70	3	240	960	21,8	0,70					

ERO SB sousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	450	450	10,2	0,08	1	450	450	10,2	0,20	1	360	360	8,18	0,15
2	450	900	20,5	0,13	2	450	900	20,5	0,60	2	450	810	18,4	0,30
3	450	1350	30,7	0,20	3	450	1350	30,7	0,70	3	450	1260	28,6	0,55
4	450	1800	40,9	0,35						4	450	1710	38,9	0,65
5	450	2250	51,1	0,60						5	200	1910	43,4	0,70
6	450	2700	61,4	0,70										
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	250	250	5,68	0,10	1	450	450	10,2	0,10					
2	450	700	15,9	0,15	2	450	900	20,5	0,15					
3	450	1150	26,1	0,20	3	450	1350	30,7	0,23					
4	450	1600	36,4	0,30	4	450	1800	40,9	0,43					
5	450	2050	46,6	0,43	5	450	2250	51,1	0,60					
6	450	2500	56,8	0,55	6	450	2700	61,4	0,65					
7	450	2950	67	0,70	7	150	2850	64,8	0,70					

ERO SB nesousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	480	480	10,9	0,45	1	480	480	10,9	0,50	1	480	480	10,9	0,55
2	250	730	16,6	0,60	2	250	730	16,6	0,60	2	350	830	18,9	0,70
3	230	960	21,8	0,70	3	230	960	21,8	0,70					
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	480	480	10,9	0,55	1	160	160	3,64	0,30					
2	320	800	18,2	0,70	2	480	640	14,5	0,63					
					3	170	810	18,4	0,70					

ERO SB-PLUS sousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	450	450	10,2	0,23	1	450	450	10,2	0,10	1	200	200	4,55	0,13
2	450	900	20,5	0,40	2	450	900	20,5	0,30	2	450	650	14,8	0,25
3	450	1350	30,7	0,58	3	450	1350	30,7	0,65	3	450	1100	25	0,45
4	450	1800	40,9	0,70	4	150	1500	34,1	0,70	4	450	1550	35,2	0,70
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	450	450	10,2	0,28	1	450	450	10,2	0,15					
2	450	900	20,5	0,58	2	450	900	20,5	0,30					
3	200	1100	25	0,70	3	450	1350	30,7	0,45					
					4	450	1800	40,9	0,60					
					5	220	2020	45,9	0,65					
					6	230	2250	51,1	0,70					

ERO SB-PLUS nesousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	480	480	10,91	0,35	1	250	250	5,682	0,40	1	80	80	1,82	0,20
2	220	700	15,91	0,70	2	240	490	11,14	0,60	2	480	560	12,7	0,55
					3	100	590	13,41	0,68	3	200	760	17,3	0,70
					4	60	650	14,77	0,70					
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	200	200	4,545	0,40	1	230	230	5,227	0,38					
2	250	450	10,23	0,70	2	260	490	11,14	0,70					

LACTIC sousledně														
Brit 1					Brit 2					Brit 3				
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00
1	445	445	10,1	0,20	1	145	145	3,295	0,05	1	195	195	4,432	0,10
2	445	890	20,2	0,30	2	445	590	13,41	0,30	2	445	640	14,55	0,38
3	445	1335	30,3	0,43	3	445	1035	23,52	0,43	3	445	1085	24,66	0,50
4	445	1780	40,5	0,60	4	445	1480	33,64	0,63	4	445	1530	34,77	0,58
5	300	2080	47,3	0,70	5	250	1730	39,32	0,70	5	445	1975	44,89	0,65
										6	160	2135	48,52	0,70
Brit 4					Brit 5									
m	l	L	T	VB	m	l	L	T	VB					
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]					
0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,00					
1	245	245	5,57	0,10	1	455	455	10,34	0,25					
2	455	700	15,9	0,35	2	455	910	20,68	0,40					
3	455	1155	26,3	0,48	3	455	1365	31,02	0,50					
4	455	1610	36,6	0,60	4	455	1820	41,36	0,65					
5	455	2065	46,9	0,70	5	200	2020	45,91	0,70					

LACTIC nesousledně																
Brit 1						Brit 2						Brit 3				
m	l	L	T	VB		m	l	L	T	VB		m	l	L	T	VB
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]		[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]		[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0,00		0	0	0	0	0,00		0	0	0	0	0,00
1	475	475	10,8	0,65		1	335	335	7,61	0,48		1	135	135	3,07	0,40
2	140	615	14	0,70		2	260	595	13,5	0,70		2	250	385	8,75	0,60
												3	100	485	11	0,65
Brit 4						Brit 5						4	100	585	13,3	0,70
m	l	L	T	VB		m	l	L	T	VB						
[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]		[-]	[mm]	[mm]	[min]	[mm]						
0	0	0	0	0,00		0	0	0	0	0,00						
1	475	475	10,8	0,50		1	245	245	5,57	0,38						
2	200	675	15,3	0,60		2	245	490	11,1	0,60						
3	100	775	17,6	0,65		3	200	690	15,7	0,70						
4	100	875	19,9	0,70												

Příloha 6

Naměřené hodnoty při měření drsnosti [25]

m [-]	Vzduch Ra[μm]	Voda Ra[μm]	EOPS 1030 Ra[μm]	LACTIC Ra[μm]	EOPS 2040 Ra[μm]	ERO SB Ra[μm]	ERO SB- PLUS Ra[μm]
1	1,022	0,880	1,034	0,909	0,817	0,820	0,786
2	1,007	0,942	0,842	0,918	0,819	0,821	0,815
3	0,937	0,977	1,018	0,993	0,857	0,885	0,772
4	0,949	0,979	0,884	0,817	0,888	0,924	0,815
5	1,009	0,939	0,951	0,884	0,893	0,829	0,839
6	0,951	0,986	1,015	1,034	0,930	0,957	0,901
7	0,974	0,908	0,817	0,939	0,941	0,877	0,884
8	0,896	1,019	0,877	0,915	0,942	0,924	0,784
9	0,923	1,005	0,937	0,960	0,961	0,818	0,952
10	0,947	0,976	1,001	0,907	0,965	0,935	0,866
Průměr	0,962	0,961	0,938	0,928	0,901	0,879	0,841

Příloha 7

Vlastnosti procesních kapalin

COOLING LIQUIDS

Emulsifying semi-synthetic PARAMO EOPS, EOPS Plus

Emulsifying oils PARAMO EOPS and EOPS Plus are mixture of petroleum oil, synthetic components, emulsifiers and inhibitors of corrosion. They do not contain chlorine, PCB, PCT and heavy metals. With water, they create micro-emulsion with high stability, resistance against microorganisms and from it resulting long lifetime, stable pH, low foaming, high lubricating and cooling performance and protective ability. They fully correspond to the requirement for efficient lubrication and cooling liquid. PARAMO EOPS Plus, beside these favorable attributes, finds its use especially where the requirement for increased conservational ability and suitable content of EP additives create favorable cutting environment.

TYPICAL PARAMETERS:	EOPS	EOPS Plus
Viscosity at 40 °C (mm ² /s)	140	140
pH 5% emulsion in distilled water at 20 °C	9,3	9,3
Density at -15 °C (kg/m ³)	955	955
Pour point (°C)	-12	-12
Flash point OK (°C)	Above 100	Above 100
Stability at 0 °C 40 °C	Clear, homogenous Clear, homogenous	Clear, homogenous Clear, homogenous
Features and stability of 5% emulsion - distilled water 48 h - hard water – 3.58 mmol/l, 48 h	Clear, yellow liquid Mild opalescence	Clear, yellow liquid Mild opalescence
Filter-paper test, 5% solution 4% vol. emulsion	Pass	Pass
Factor for manual refractometer	1	1

Use:

PARAMO EOPS	universal liquid for all common operations of machining of ferrous and non-ferrous metals and aluminum alloys (machining, shaping, drilling, grinding, etc.); in concentration 3-10% according to machining conditions.
PARAMO EOPS Plus	is liquid designed for cases where we are forced to execute complex machining operations or materials with worsened machinability and when increased requirements for conservation ability take place.

Emulsifying semi-synthetic oil PARAMO UNI PLUS

Emulsifying oil PARAMO UNI PLUS is a mixture of petroleum oils and synthetic components. It is marked with high stability and bio-resistance. It has excellent lubricating and cooling ability. It fully complies with requirement for efficient lubricating and cooling liquid.

TYPICAL PARAMETERS:	UNI PLUS
Viscosity at 40 °C (mm ² /s)	50
pH 5% emulsion in distilled water at 20 °C	9,2
Density at 15 °C (kg/m ³)	980
Pour point (°C)	-20
stability of 5% emulsion - distilled water 48 h - hard water – 3.58 mmol/l, 48 h	Pass Pass
Filter-paper test, 5% solution	0
Factor for manual refractometer	1

Use:

- universal liquid for all common operations of splinter machining of ferrous metals, non-ferrous metals, light metals and their alloys (machining, shaping, drilling, grinding, etc.) in concentration 3–10% according to machining conditions;
- it is used for particular machines and central systems.

Emulsifying semi-synthetic oil PARAMO LACTIC

PARAMO LACTIC is modern emulsifying oil conceived on a basis of derivate of lactic acid, containing selected petroleum oils, emulsifiers, efficient de-foamer and corrosion inhibitors. With water, it creates micro emulsion with high stability, resistance against microorganisms and from it resulting long lifetime, stable pH, low foaming, high lubricating and cooling liquid, which sparingly treats significantly exposed skin of employees operating machine tools.

Typical parameters:	PARAMO LACTIC
Viscosity at 40 °C (mm ² /s)	22
pH 5% emulsion in distilled water at 20°C	9,3
Density at 15°C (kg/m ³)	1090
Pour point (°C)	-6
stability of 5% emulsion - distilled water 48 h - hard water – 3.58 mmol/l, 48 h	Pass Pass
Filter-paper test, 5% solution	0
Factor for manual refractometer	1

Use:

- universal liquid for all common operations of splinter machining of ferrous metals, non-ferrous metals, light metals and their alloys (machining, shaping, drilling, grinding, etc.) in a concentration 3-10% according to conditions of machining;
- it is designed for particular machines and for central systems.

EMULSIFYING PETROLEUM OILS

PARAMO ERO-SB, ERO-SB Plus, ERO-D

Emulsifying petroleum oils PARAMO ERO-SB, ERO-SB Plus and ERO-D are mixtures of petroleum oil fractions, emulsifiers, inhibitors of corrosion and biocides against premature microbial decomposition. With water, it creates uniform milky emulsion.

Typical parameters::	ERO SB	ERO-SB Plus	ERO D
Viscosity at 40 °C (mm ² /s)	30-50	30-50	30-50
pH 5% emulsion in distilled water at 20°C	9.3	9.3	9.3
Emulsion (5%) stability in distilled water 48 h	Pass	Pass	Pass
Corrosive test Herbert-test 2% emulsion in distilled water at 20°C			negativní
Corrosive test of emulsion 5% vol. degree	negative	negative	
Factor for manual refractometer	1	1	1

Use:

- cooling fluids for machining with accurately defined tool geometry (machining, shaping, drilling, cutting, etc.) also for grinding;
- recommended concentration 3-8% according to conditions of machining; they are suitable for machining of ferrous and non-ferrous metals and Al alloys;
- Fire-resistant pressure fluids of HFAE type for hydrostatic equipment in concentration 2-5%.